جامعة حلب

كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية

قسم الهندسة الإلكترونية



تصميم وتنفيذ منظومة إلكترونية مخبرية تعليمية لتوصيف بارامترات اللواقط الكهروشمسية

Design & implementation of electronic laboratory teaching system for photovoltaic's detector parameters identification

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإلكترونية

إعداد

المهندس رضوان شيخ شرف

2011 م

1432هـ

جامعة حلب

كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية

قسم الهندسة الإلكترونية



تصميم وتنفيذ منظومة إلكترونية مخبرية تعليمية لتوصيف بارامترات اللواقط الكهروشمسية

Design & implementation of electronic laboratory teaching system for photovoltaic's detector parameters identification

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإلكترونية

بإشراف

الدكتور أحمد رجب بوشناق

الأستاذ في قسم الهندسة الإلكترونية

كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية

جامعة حلب

الدكتور عبد القادر حريري

الأستاذ في قسم الفيزياء

كلية العلوم

جامعة حلب

بالتعاون مع

الدكتور محمدعارف نعمة

المدرس في قسم الهندسة الإلكترونية

كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية

جامعة حلب

إعداد المهندس رضوان شيخ شرف

طالب دراسات عليا (ماجستير) في قسم الهندسة الإلكترونية

2011 م

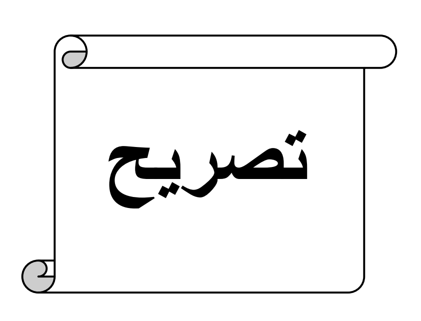
1432هـ

قدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات نيل درجة الماجستير في الهندسة الكهربائية في قسم الهندسة الإلكترونية من كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية بجامعة حلب

شهادة

نشهد بأن العمل المقدم في هذه الرسالة هو نتيجة بحث علمي قام به المرشح المهندس رضوان شيخ شرف تحت إشراف الدكتور أحمد رجب بوشناق (المشرف الرئيسي) الأستاذ في قسم الهندسة الإلكترونية من كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية بجامعة حلب والدكتور عبد القادرحريري (المشرف المشارك) الأستاذ في قسم الفيزياء من كلية العلوم بجامعة حلب وبالتعاون مع الدكتور محمدعارف نعمة المدرس في قسم الهندسة الإلكترونية من كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية بجامعة حلب، وأن أية مراجع أخرى ذُكرت في هذا العمل موثقة في نص الرسالة.

المرشح	بالتعاون مع	المشرف المشارك	المشرف الرئيسي
المهندس رضوان شيخ شرف	الدكتور محمدعارف نعمة	الدكتورعبد القادرحريري	الدكتورأحمد رجب بوشناق



أصرح بأن هذا العمل:

" تصميم وتنفيذ منظومة إلكترونية مخبرية تعليمية لتوصيف بارامترات اللواقط الكهروشمسية "

لم يسبق أن قُبل للحصول على أي شهادة، ولا هو مقدم حالياً للحصول على أي شهادة أخرى.

المرشح

المهندس: رضوان شيخ شرف

نوقشت هذه الرسالة بتاريخ 2011/5 /5 وأجيزت

لجنة الحكم على الرسالة

الدكتور : هلال هلال
الأستاذ المساعد في قسم الهندسةالإلكترونية
كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية
جامعة حلب

الدكتور : عدنان زين الدين
الأستاذ في قسم االعلوم
كلية الهندسة الميكانيكية والإلكترونية
جامعة تشرين

الدكتور : عبد القادر حريري
الأستاذ في قسم الفيزياء
كلية العلوم
جامعة حلب

Abstract

This thesis presents an integrated study for design and implementation of the electronic laboratory teaching system to characterize the solar panels by connecting the circuit operation (Hardware) with the program (Software) has been prepared on the computer to draw a curve (I-V) and (P-V) for solar panel parameters identification and find Ingredients Deals Him, automatically by using MOSFET-E(n) as a loading element and send data (voltage and current) directly to the computer to be processed by drawing a curved voltage - amp .This, however, will guarantee data acquisitioning to identification of solar panel parameters, or manually by selecting the network resistors as a loading element and read the values of current and voltage corresponding to each Omic Load and fill Table of these values and draw the curve (I-V) and (P-V) to the solar panel and so is combined with the way the mechanism and the manual method. To this end, we have designed lighting device for taking measurements and results.

Testimony

We witness that the described work in this treatise is the results of scientific search conduct by the candidate Eng. Radwan sheikh sharaf under supervision of Dr. Ahmad Rajab Bou Shnak (main supervisor) professor in the department of Electronic Engineering in faculty of Electrical & Electronic Engineering at the University of Aleppo, and Dr Abdulkader Hariri (assistant supervisor) professor in the department of Physics in Faculty of Sciences at the University of Aleppo. Any other references mentioned in this work are documented in the text of the treatise.

Candidate	Cooperate with	Assistant supervisor	Main supervisor
Eng. Radwan sheikh sharaf	Dr.Mohammed Aref Neima	Dr. Abdulkader Hariri	Dr. Ahmad Rajab BouShnak

Declaration

I hereby certify that this work has not been accepted for any degree or it is not submitted to any other degree.

Candidate

Eng. Radwan sheikh sharaf

Aleppo University
Faculty of Electrical & Electronic Engineering
Electronic Engineering Department



Design & implementation of electronic laboratory teaching system for photovoltaic's detector parameters identification

This Thesis is submitted to obtain the Master Degree in Electronic Engineering

By

Eng. Radwan sheikh sharaf
Postgraduate Student
Department of Electronic Engineering
Faculty of Electrical & Electronic Engineering
Aleppo University

Suprvised By

Dr. Abdulkader Hariri
Professor in the department of Physics
Faculty of Sciences
University of Aleppo

Dr. Ahmad Rajab BouShnak
professor in the department of Electronic Engineering
faculty of Electrical & Electronic Engineering
University of Aleppo

Cooperate with
Dr.Mohammed Aref Neima
Dept. of Electronic Engineering,
Faculty of Electrical and Electronic Engineering,
University of Aleppo

2011 D.C

1432 H

Aleppo University
Faculty of Electrical & Electronic Engineering
Electronic Engineering Department



Design & implementation of electronic laboratory teaching system for photovoltaic's detector parameters identification

This Thesis is submitted to obtain the Master Degree in Electronic Engineering

By

Eng. Radwan sheikh sharaf
Postgraduate Student
Department of Electronic Engineering
Faculty of Electrical & Electronic Engineering
Aleppo University

2011 D.C

1432 H

فهرس المحتويات



ملخص البحث

Summary

يقدم هذا البحث دراسة متكاملة لتصميم وتنفيذ منظومة إلكترونية مخبرية تعليمية لتوصيف الألواح الشمسية عن طريق ربط الدارة العملية (Hardware) مع برنامج (Software) تم إعداده على الحاسب بغرض رسم المنحني (I -V) و (P -V) للوح الشمسي وإيجاد المقادير المميزة له،إما آلياً عن طريق اختيار الترانزيستور الحقلي كحمل وإرسال المعطيات (الجهد والتيار) مباشرة إلى الحاسب ليتم معالجتها عن طريق رسم منحني الفولط – أمبير واستخلاص المقادير المميزة منه، أو يدوياً عن طريق اختيار شبكة المقاومات السلمية كحمل وقراءة قيم التيار والجهد الموافق لكل حمل أومي و ملء جدول بهذه القيم ورسم المنحني (I -V) و (P -V) للوح الشمسي وهكذا يتم الجمع بين الطريقة الآلية والطريقة اليدوية. وفي سبيل ذلك قمنا بتصميم جهاز إضاءة لإجراء القياسات وأخذ النتائج.

مقدمة

Introduction

خلق الله الإنسان في هذا الكون لتأدية مهمة محددة هي الخلافة عن الله في الأرض، وزوده سبحانه بأدوات الخلافة ومستلزماتها وسخر له كل شيء ليقوم بمهمته على الوجه المطلوب { وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمَاوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعاً مِّنْهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ } [الجاثية:13]، وكان أول ما زوده به هو العلم، وبذلك كان العلم فضل الله العظيم ومنته الكبرى على الإنسان، تميز بها عن غيره من المخلوقات بما في ذلك الملائكة .

استمر منحنى التقدم العلمي في صعود، منذ فجر التاريخ حتى العصر الحديث، حيث تبين لكل ذي عين ترى، مكانة العلم وأهميته في التأثير على حاضر الأمم ومستقبلها.

لعل أهم ما يواجه الإنسان في هذا الوقت من تحديات هي مشكلة الطاقة، فقد تنامى الطلب على مصادر الطاقة الأولية بشكل متسارع خلال السنوات الماضية وبمعدلات مرتفعة نظراً للدور الحيوي والهام الذي تؤديه الطاقة في التطور الاقتصادي والاجتماعي للدول باعتبارها أحد أهم المستلزمات المحركة للقطاعات الاقتصادية المختلفة وركيزة أساسية من ركائز التطور الاجتماعي وتحسين المستوى المعيشي للأفراد والمجتمعات، وذلك من خلال علاقة الطاقة بالقطاعات الاقتصادية المختلفة وبالحياة العامة والتي هي علاقة تكاملية مترابطة تتأثر بمستويات التطور في المجالات المختلفة، وتؤثر على تلك المستويات إيجاباً في حال وفرتها وسلباً في حال نقصانها.

وفي ضوء ارتفاع أسعار الوقود الأحفوري عالمياً وازدياد الخطر الكامن في نضوبه في المستقبل كان لابد من التوجه إلى إيجاد البدائل العملية لمواجهة الطلب المتزايد على الطاقة، مما أعطى الطاقات المتجددة الأولوية في مجالات البحث والتطوير والتطبيق وخاصة في الدول العربية لما تتمتع به من كمون هائل لهذه الطاقات.

إن سورية تعمل في الوقت الحاضر على تطوير واستخدام مصادر الطاقة المتجددة مع حرصها على الالتزام بالقضايا البيئية، الأمر الذي من شأنه أن يعزز الثقة في استدامة الطاقة المتجددة على المدى الطويل ويساهم في تعزيز النمو الاقتصادي، كما تقوم بتوجيه البحث العلمي في الجامعات والمعاهد والمراكز البحثية للتركيز على الطاقات المتجددة وإدخال موضوعات وتقانات الطاقات المتجددة وطرائق استثمارها ومجالات تطبيقها في المناهج التعليمية وإحداث وتطوير مخابر قياس واختبار ذات اعتمادية.

يقدم هذا البحث دراسة متكاملة لتصميم وتنفيذ منظومة إلكترونية مخبرية تعليمية لتوصيف الألواح الشمسية عن طريق ربط الدارة العملية (Hardware) مع برنامج (Software) تم إعداده على الحاسب بغرض رسم المنحني (I -V) و (P -V) للوح الشمسي وإيجاد المقادير المميزة له، إما آلياً عن طريق اختيار الترانزيستور الحقلي كحمل وإرسال المعطيات (الجهد والتيار) مباشرة إلى الحاسب ليتم معالجتها

عن طريق رسم منحني الفولط – أمبير واستخلاص المقادير المميزة منه، أو يدوياً عن طريق اختيار شبكة المقاومات السلمية كحمل وقراءة قيم التيار والجهد الموافق لكل حمل أومي و ملء جدول بهذه القيم ورسم المنحني (I -V) و (P -V) للوح الشمسي وهكذا يتم الجمع بين الطريقة الآلية والطريقة اليدوية. وفي سبيل ذلك قمنا بتصميم جهاز إضاءة لإجراء القياسات وأخذ النتائج.

تتضمن الرسالة خمسة فصول تشمل الطاقات المتجددة والإشعاع الشمسي وأساسيات الخلايا الشمسية، كأقسام نظرية. وتصميم وتنفيذ المنظومة الإلكترونية واختيار المصدر الضوئي وتحليل النتائج، كأقسام عملية. بالإضافة إلى مقدمة وآفاق التطوير المستقبلية وملحق والمنشورات وجدول بالمصطلحات العلمية و قائمة بالمراجع العربية والأجنبية وفهرس بالمحتويات.

يبحث الفصل الأول الذي عنوانه الطاقات المتجددة في مفهوم الطاقة ومصونيتها ثم في تصنيف مصادر الطاقة و مفهوم الطاقة المتجددة وخصائصها وأنواعها، ثم نتحدث عن الطاقة الشمسية وميزاتها وطرق تحويلها والبرامج المتعلقة بالطاقة الشمسية.

أما الفصل الثاني الذي عنوانه الإشعاع الشمسي، فيتناول الخصائص الطبيعية للشمس والإشعاع الشمسي على سطح الأرض وأثر الغلاف الجوي على الإشعاع الشمسي، ثم نذكر أجهزة قياس الإشعاع الشمسي ونلقي الضوء على الإشعاع الشمسي في الوطن العربي ونبين واقع الإشعاع الشمسي في سوريا ثم واقع الإشعاع الشمسي في مدينة حلب.

الفصل الثالث بعنوان أساسيات الخلايا الشمسية، حيث تم في هذا الفصل، عرض شرح مفصل للخلية الشمسية، بدءاً من فيزيائية الخلية إلى أنواعها إلى طرق تصنيعها وتجميعها إلى إلى معرفة تأثير العوامل المختلفة على أداء الخلية الشمسية.

أما الفصل الرابع الذي عنوانه تصميم وتنفيذ المنظومة الإلكترونية، فقد تم عرض الدارة العملية (Hardware) مع واجهة البرنامج (Software) الذي تم إعداده على الحاسب وامكاناته، والمراحل التي قمنا بها لاختيار الترانزيستور الحقلي كحمل المتغير (الطريقة الآلية)، ثم اختيار شبكة المقاومات السلمية كحمل أومي متغير(الطريقة اليدوية)، وقمنا بتصميم جهاز إضاءة يتمتع بالمجال الطيفي الواسع للأشعة وذلك باستخدام مصابيح الزينون ومصابيح الهالوجين حيث معاً.

الفصل الخامس الذي عنوانه النتائج العملية والتوصيات وآفاق التطوير المستقبلية،.حيث تم إجراء القياسات وحصلنا على النتائج العملية المتمثلة برسم المنحنيات (I -V) للوح الشمسي من أجل شروط مختلفة (شدات الإشعاع الضوئي، الطول الموجية، زاوية الورود للأشعة، درجة الحرارة للوح الشمسي) ومن ثم تحديد المقادير المميزة للوح الشمسي عند كل حالة. ثم قمنا بذكر الأعمال المنجزة في الخاتمة واستعرضنا التوصيات وآفاق التطوير المستقبلية وتم وضع الملحقات والمنشورات وجدول بالرموز العلمية وجدول بالمصطلحات العلمية و قائمة بالمراجع العربية و الأجنبية في آخر الرسالة.

الفصل الأول

الطاقات المتجددة

Renewable Energy

1−1 مفهوم الطاقة: The concept of energy

قبل الخوض في استعراض الطاقات المتجددة بشكل مفصل سوف نقوم بتقديم بعض مفاهيم الطاقة [1].
إن مصطلح الطاقة Energy مشتق من كلمتين يونانيتين وهي: En (تعني مجمل) و ergon (تعني العمل) ومفهوم المصطلح يعني مجمل العمل. أما التعريف السائد للطاقة فهو القدرة على القيام بعمل ما(أى إحداث تغيير) والعمل هوالقوة التي يمكنها نقل كتلة معينة إلى مسافة معينة. ووحدات العمل في الجملة الدولية في القياس هي الجول [Joule] والجول عبارة عن حاصل ضرب واحدة القوة في واحدة المسافة [Nowten.Meter] والنيوتن واحدة القوة وهو عبارة عن [$kg.m/Sec^2$]، وبالتالي وحدة العمل تكون [$kg.m^2/Sec^2$] وهي نفس واحدات الطاقة الميكانيكية وعليه فالعمل يحتاج إلى قوة ويحتاج إلى إزاحة جسم لمسافة معينة .

الطاقة هي الوجه الآخر لموجودات الكون غير الحية، فالجمادات بطبيعتها قاصرة عن تغيير حالتها دون مؤثر خارجي، وهذا المؤثر الخارجي هو الطاقة، فالطاقة هي مؤثرات تتبادلها الأجسام المادية لتغيير حالتها، ويفيد المفهوم العلمي للطاقة في إظهار الميزّات العامة في العمليات المتنوعة، فمثلا لتحريك جسم ساكن ندفعه فنعطيه بذلك طاقة حركية، ولتسخين جسم نعطيه طاقة حرارية، ولجعل الجسم مرئياً نسلط عليه ضوءاً فنعطيه طاقة ضوئية، هذه العمليات وعمليات أخرى يمكن وصفها بأشكال الطاقة المتنوعة، مثل: الطاقة الحرارية والطاقة الكيميائية (في الوقود أو البطاريات) والطاقة الحركية والطاقة الكهربائية والطاقة الكامنة للجاذبية الأرضية والطاقة النووية وأشكال أخرى متنوعة.

2−1 مصونية الطاقة (القانون الأول في الترموديناميك):

Energy Conservation study (The first law of thermodynamics)

كمية الطاقة الموجودة في العالم ثابتة على الدوام، فالطاقة لا تفنى ولا تستحدث من عدم ضمن قدرة الإنسان، ولكنها تتحول من صورة إلى أخرى، هذا المبدأ يدعى بالقانون الأول في الترموديناميك حيث تبقى الطاقة دائماً مصانة، وأي تحول للطاقة من شكل إلى آخر فإن الكمية الكلية للطاقة تبقى دون تغيير، حيث تتحول من طاقة كيميائية إلى طاقة ضوئية مثلاً، والكهربائية إلى حركية وهكذا.......

إذا كانت كمية الطاقة في خرج محطة طاقة ما أقل من كمية الطاقة الداخلة إلى هذه المحطة، فهذا يعني أن قسماً من الطاقة قد تحولت إلى شكل آخر (عادةً حرارة مهدورة)، وإذا كانت الكمية الإجمالية للطاقة دائماً نفسها، فكيف يمكن أن نتحدث عن استهلاك الطاقة إذاً ؟ مباشرةً نقول: نحن لا نستهلك الطاقة ولكن نحولها من شكلٍ إلى آخر، مثلاً نحن نستهلك الوقود الذي يعد مصدراً من مصادر الطاقة المتوافرة حالياً،

ويحترق الوقود في المحرك واحتراقه يخزن الطاقة الكيميائية على شكل حرارة ومن ثم على شكل طاقة حركية، كذلك العنفة الريحية تأخذ الطاقة الحركية من الهواء وتحولها إلى طاقة كهربائية تُستخدم لإضاءة المصباح الذي يشع الطاقة الضوئية بالإضافة إلى طاقة حرارية.

3-1 التحويل والمردود :Conversion and Efficiency

عند تحول الطاقة من شكل إلى آخر فإن الخرج المفيد لا يساوي الدخل، ونسبة الخرج المفيد للدخل يدعى بمردود العملية. يمكن أن يكون المردود عالياً 95% في حالة العنفات المائية، ومتوسطاً حوالي35%- 40 في المحطات التي تستخدم احتراق الفحم، ومنخفضاً حوالي 10%- 20 في محرك الاحتراق الداخلي، ويمكن تحسين كفاءة الآلة بوساطة التصميم الجيد لنظام تحويل الطاقة.

إن سبب الاختلاف في المردود في الأنظمة المذكورة أعلاه، كامن في أن العنفات المائية تحول الطاقة الكامنة نتيجة تساقط المياه إلى طاقة حركية دون المرور عبر طاقة حرارية، بينما في الأنظمة الأخرى يتم تحويل الطاقة الكامنة في الوقود إلى طاقة حرارية ومن ثم إلى طاقة حركية، ولا توجد آلة تستطيع تحويل الطاقة الحرارية بأكملها إلى طاقة كهربائية أو ميكانيكية، كما ينص على ذلك القانون الثاني لديناميكا الحرارة (Second law of thermodynamic) وهو" أن هناك كفاءة محدودة للماكنة الحرارية، وأن قسماً من الطاقة يجب أن يطرح خارجاً كحرارة (الفاقد) ذات درجة حرارة منخفضة".

4-1 تصنيف مصادر الطاقة: Classification energy sources

هناك تصنيف للطاقة ومصادرها يقوم على مدى إمكانية تجدد تلك الطاقة واستمراريتها، ويشمل[2]:

- **مصادر الطاقة غير المتجددة (التقليدية):Sources of non-renewable energy**

وهي عبارة عن المصادر الناضبة أي أنها سوف تنتهي عبر زمن معين لكثرة الاستخدام ولا يمكن صنعها ثانية أو تعويضها مجدداً في زمن قصير، وهي متوفرة في الطبيعة بكميات محدودة وغير متجددة وتشمل الوقود الأحفوري مثل النفط والغاز والفحم بكل الأنواع التي تكونت عبر السنين الماضية في جوف الأرض، وهي ذات أهمية لأنها تختزن طاقة كيميائية من السهل إطلاقها كطاقة حرارية أثناء عملية الاحتراق .

وتشمل هذه المصادر الطاقة النووية التي تستخدم في عملية توليد الكهرباء عن طريق استخدام الحرارة الناتجة عن عمليات الانشطار النووي في المفاعلات النووية .

وكذلك نجد أن مصادر هذه الطاقة بجانب أنها ناضبة فإنها ملوثة للبيئة .

- **مصادر الطاقة المتجددة (البديلة): Renewable energy sources**

وهي عبارة عن مصادر طبيعية دائمة وغير ناضبة ومتوفرة في الطبيعة سواء أكانت محدودة أو غيرمحدودة، ولكنها متجددة باستمرار، وهي نظيفة لا ينتج عن استخدامها تلوث بيئي ومن أهم هذه المصادر، الطاقة الشمسية التي تعتبر في الأصل هي الطاقة الرئيسية في تكوّن مصادر الطاقة وكذلك

طاقة الرياح وطاقة المدّ والجزر والأمواج والطاقة الحرارية الجوفية وطاقة المساقط المائية وطاقة الكتلة الحيوية والطاقة المائية للبحار والمحيطات .

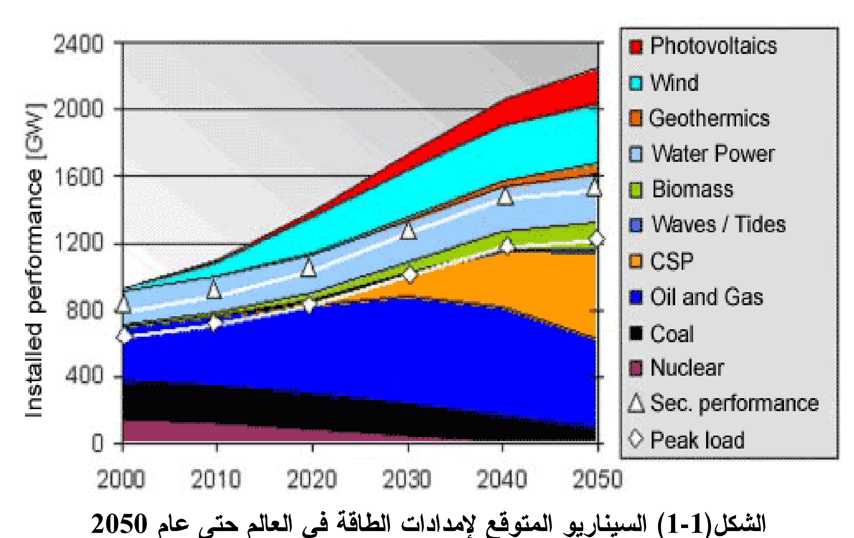
وكذلك نلاحظ أن المصادر المائية وطاقة المد والجزر وطاقة الرياح هي عبارة مصادر طبيعية للطاقة الميكانيكية .

1-5 مفهوم الطاقة المتجددة: The concept of renewable energy

هي الطاقة المستمدة من الموارد الطبيعية التي تتجدد ويتكرر وجودها في الطبيعة على نحو تلقائي ودوري أو التي لا يمكن ان تنفذ (الطاقة المستدامة).فهي مصدر طبيعي غير تقليدي للطّاقة ، مستمر لا ينضب وقابل للتّجديد بسرعة، ويحتاج فقط إلى تحويله من طاقة طبيعية إلى أخرى يسهل استخدامها بوساطة تقنيات العصر، وهي بذلك على عكس الطاقات غير المتجددة الموجودة غالباً في مخزون جامد في الأرض لا يمكن الإفادة منها إلا بعد تدخل الإنسان لإخراجها منه، وتتمثل الطاقات المتجددة في العالم عموماً بالطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة المياه وطاقة الكتلة الحيوية وطاقة الأمواج وطاقة الحرارة الجوفية [3].

هذه البدائل هي طاقات متجددة ولها طابع الديمومة أي لا تنضب وتساهم بشكل كبير بالتخفيف من حدة استخدام الطاقة التقليدية والتي يتراجع مخزونها تبعا لارتفاع معدلات الاستهلاك.

ورغم أن مزايا الطاقات المتجددة كثيرة، إلاّ أن هناك بعض الصعوبات التي تواجه استخدامها، فهي غير متوفرة دوماً عند الطلب، وتتطلب استثمارات أولية ضخمة، واسترداد الاستثمار الأولي فيها يستغرق زمناً طويلاً.



الشكل(1-1) السيناريو المتوقع لإمدادات الطاقة في العالم حتى عام 2050

يبين الشكل (1-1) السيناريو المتوقع لإمدادات الطاقة في العالم حتى عام 2050، ونلاحظ وفق هذا النموذج المستقبلي أن الاعتماد على الطاقات المتجددة لتوليد الطاقة في ازدياد بينما يتناقص الاعتماد على الطاقات غير المتجددة[4].

1-5-1 خصائص الطاقة المتجددة:Renewable Energy Features

1. متوفرة في معظم دول العالم.
2. مصدر محلي لا ينتقل، ويتلاءم مع واقع تنمية المناطق النائية والريفية واحتياجاتها.
3. نظيفة ولا تلوث البيئة، وتشكل علاجاً لمشكلة التغيرات المناخية وتحافظ على الصحة العامة.
4. اقتصادية في كثير من الاستخدامات، وذات عائد اقتصادي كبير.
5. ضمان استمرار توافرها وبسعر مناسب وانتظامه.
6. لا تحدث أي ضوضاء، أو تترك أي مخلفات ضارة تسبب تلوث البيئة.
7. تحقق تطوراً بيئياً، واجتماعياً، وصناعياً، وزراعياً على طول البلاد وعرضها.
8. تستخدم تقنيات غير معقدة ويمكن تصنيعها محلياً في الدول النامية.

2-5-1 أنواع الطاقة المتجددة : Types of Renewable Energy

1. الطاقة الشمسية.
2. طاقة الرياح.
3. طاقة الكتلة الحيوية.
4. طاقة المساقط المائية.
5. طاقة حرارة باطن الأرض.
6. طاقة حركة الأمواج والمد والجزر.
7. طاقة فرق درجات الحرارة في أعماق المحيطات والبحار.

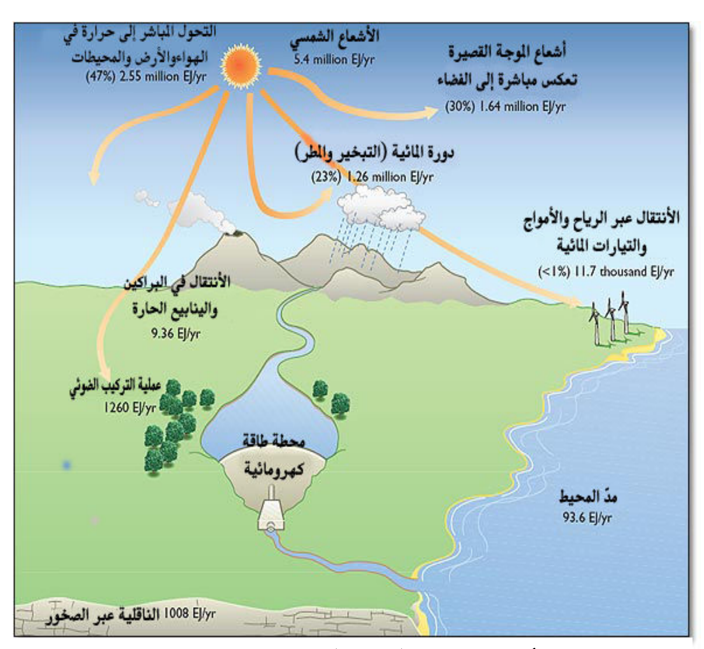
سنكتفي بالحديث عن أهم هذه الطاقات، وهي الطاقة الشمسية وكيفية توليد الكهرباء،وسوف نتوسع بالشرح.

6-1 الطاقة الشمسية :Sun Energy

تعد الشمس من المصادر الدائمة للطاقة وتعد الطاقة الشمسية هي اصل لكل الطاقات على سطح الارض، وبشكل مباشر أو غير مباشر هي الوقود لمعظم نظم الطاقات المتجددة، فجميع الكائنات الحية تعتمد على تأثير الشمس في توفير الغذاء حيث تستفيد النباتات من طاقة الشمس في عملية التركيب الضوئي، وتتغذى الحيوانات بالنباتات. وفي النهاية يستفيد الإنسان من ذلك بالحصول على ما يلزمه من غذاء وملبس ومأوى. ضمن ما يسمى بعملية سلسلة الغذاء[5].

كما يتأثر طقس الأرض تأثراً بالغاً بأشعة الشمس، فنرى الأمطار الناتجة عن تبخر المياه تتساقط لتملأ الأنهار التي يمكن استخدامها في توليد الطاقة الكهرمائية منها باستخدام العنفات المائية التي تركب عليها، وتعمل مع وجود السحب على تسخين جو الأرض بدرجات متفاوتة، وهذا بدوره يحدث اختلافاً في الضغط الجوي، ونحصل في النتيجة على طاقة الرياح.

يستخدم الإنسان طاقة الشمس في الوقود الأحفوري، أي الفحم الحجري والنفط والغاز التي نشأت نتيجة لتعفن المواد النباتية، والحيوانية ، التي دفنت في التربة الأرضية أو الأحراش أو أعماق البحار منذ ملايين السنين. فإذا ما أحرقنا الفحم الحجري الناتج وكررنا النفط المستخرج فإننا نحصل على الطاقة التي اختزنت فيها من ملايين السنين، الشكل(1-2) يلخص أصول ومقادير المصادر المتجددة لطاقة الأرض، ويوضح بأن المصدر الأساسي للطاقة هي أشعة الشمس.



الشكل(1-2) الأشكال المتنوعة للطاقة المتجددة المعتمدة على الشمس

1-6-1 تحويل الطاقة الشمسية:Solar energy conversion

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية وطاقة حرارية من خلال طريقتين اساسيتين[5]:

1 - التحويل المباشر باستخدام الخلايا الفوتوفلطائية: Solar Photovoltaics (PV)

وهو تحويل الإشعاع الشمسي مباشرة إلى طاقة كهربائية بوساطة الخلايا الشمسية،.وتتميز الخلايا الشمسية بأنها لا تشمل أجزاء أو قطع متحركة، وهي لا تستهلك وقوداً ولا تلوث الجو وحياتها طويلة ولا تتطلب إلا القليل من الصيانة، ويمكن تثبيتها على أسطح المباني ليستفاد منها في إنتاج الكهرباء، الشكل (1-3) وتعتبر الأنظمة الفوتوفلطائية الصغيرة مبررة الإستخدام اقتصادياً في العديد من المشاريع في المناطق النائية، وتركب حالياً بالآلاف في مختلف أنحاء العالم فيمكن استخدامها في محطات التقوية للإتصالات الراديوية والهاتفية، وفي أجهزة استقبال الراديو والتلفزيون التعليمية وفي محطات الرادار، وفي القرى النائية والمزارع وفي محطات الأرصاد الجوية وإشارات الإنذار على الطرق وحراسة الغابات وفي الإحتياجات العسكرية وفي إنارة الطرق والمنشآت وفي ضخ المياه وغيرها من الأعمال العديدة الأخرى.



الشكل (1-3): مجموعة وحدات كهروشمسية

2 - التحويل عن طريق الطاقة الحرارية الشمسية المركزة: Concentrating Solar Thermal Power (CSP) ويعتمد على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية عن طريق الأطباق الشمسية، حيث تتركز أشعة الشمس بوساطة المرايا، وتنتجُ الحرارة التي تم تجميعها بخاراً، وهذا يتم تحويله إلى كهرباء عن طريق مجموعة عنفات مولدة، كما في الشكل(1-4).يدعى هذا التحويل أيضاً بالتحويل الكهربائي اللامباشر نظراً لأنه يحتاج إلى وصلة ترموديناميكية للحصول على الكهرباء، فإذا تعرض جسم داكن اللون ومعزول إلى الإشعاع الشمسي فإنه يمتص الإشعاع وترتفع درجة حرارته، كما يستفاد من هذه الحرارة في التدفئة والتبريد وتسخين المياه وغيرها.





الشكل (1-4)مجموعات تحويل حراري للطاقة الشمسية

1-6-2 ميزات الطاقة الشمسية:Features of solar energy

يبحث الإنسان دوماً عن مصادر جديدة للطاقة لتغطية احتياجاته المتزايدة في تطبيقات الحياة المتطورة التي نعيشها، ويعيب الكثير من مصادر الطاقة نضوبها وتكلفة استغلالها المرتفعة والتأثير السلبي لاستخدامها على البيئة، وقد تنبه الإنسان في العصر الحديث إلى إمكانية الاستفادة من حرارة أشعة الشمس والتي تتصف بأنها طاقة متجددة ودائمة لا تنضب، وأدرك جلياً الخطر الكبير الذي يسببه استخدام مصادر الطاقة الأخرى والشائعة (وخاصةً النفط والغاز الطبيعي) في تلوث البيئة وتدميرها، مما يجعل الطاقة الشمسية الخيار الأفضل على الإطلاق، ولهذا أضحت الطاقة الشمسية في عصرنا الحالي دخلاً قومياً لبعض البلدان حتى أنه في دول الخليج العربي والتي تعتبر من أكثر بلاد العالم غنى بالنفط، تستخدم الطاقة الشمسية بشكل رئيسي وفعال.

تتميز الطاقة الشمسية بخواص فريدة تجعلها الأفضل بلا منازع بين جميع أنواع الطاقات الأخرى فهي[6] :

1. طاقة هائلة يمكن توليدها واستخدامها في أي مكان.
2. تشكل مصدراً مجانياً للوقود الذي لا ينضب مقارنة مع المصادر الأخرى.
3. طاقة نظيفة لا تنتج أي نوع من أنواع التلوث البيئي
4. إن التقنية المستعملة فيها تبقى بسيطة نسبياً وغير معقدة بالمقارنة مع التقنية المستخدمة في مصادر الطاقة الأخرى.

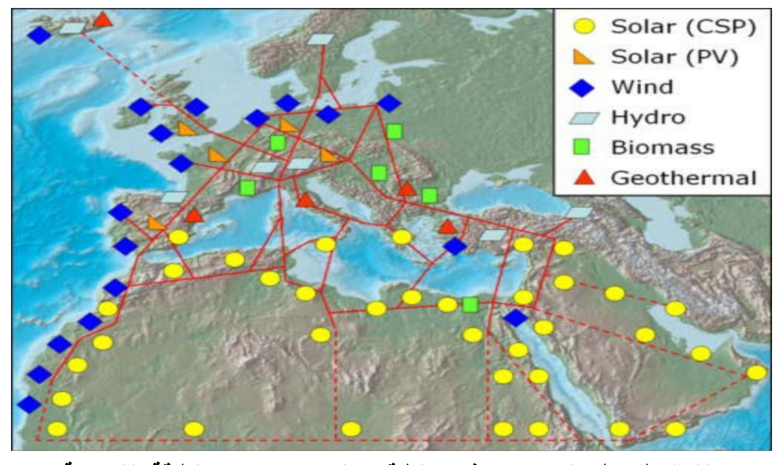
1-6-3 برامج نقل وتمويل التقنيات المتعلقة بالطاقة الشمسية:

Transfer programs and financing techniques on solar energy

بما أن الطاقة الشمسية هي أهم مصادر الطاقات الجديدة والمتجددة، فإن جهود كثير من الدول تتوجه لها بمختلف صورها وترصد لها المبالغ اللازمة لتطوير المنتجات والبحوث الخاصة باستغلال الطاقة الشمسية، وهذا المصدر من الطاقة هو أمل الدول النامية في التطور حيث أصبح توفر الطاقة الكهربائية من أهم العوامل الرئيسة لإيجاد البنى الأساسية فيها ولا يتطلب إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية إلى مركزية التوليد بل تنتج الطاقة وتستخدم بنفس المنطقة أو المكان وهذا ما سوف يوفر كثيراً من تكلفة النقل والمواصلات.

لقد أثبتت التجارب والتطبيقات العلمية والعملية إمكانية استخدام الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء على نطاق تجاري، ومع التطور الكبير في التقنية والتقدم العلمي الذي وصل إليه الإنسان فقد فتحت آفاقا علمية جديدة في ميدان استغلال الطاقة الشمسية، وقد منّ الله سبحانه وتعالى على الوطن العربي بقسط وافر من كمية الطاقة الشمسية حيث تعتبر الطاقة الشمسية الساقطة على المتر المربع الواحد من أعلى معدلاتها في العالم.

استناداً إلى الشكل (1-5) فإن محطات التوليد التي تم التخطيط لإقامتها في بعض المناطق العربية من مصادر الطاقات المتجددة يمكن أن تساهم في تعزيز التعاون بين أوروبا والدول العربية للحفاظ على البيئة مع استدامة الطاقة.



الشكل (1-5) مشروع استثمار الطاقات المتجددة ومنها الطاقة الشمسية

الفصل الثاني

الإشعاع الشمسي

Solar Radiation

2-1 مقدمة:Introduction

خلق الله الشمس والقمر كآيات دالة على كمال قدرته وعظيم سلطانه وجعل شعاع الشمس مصدراً للضياء على الأرض وجعل الشعاع المعكوس من سطح القمر نوراً . قال الله تعالى في كتابه العزيز {هو الذي جعل الشمس ضياء والقمر نوراً وقدره منازل لتعلموا عدد السنين والحساب ما خلق الله ذلك إلا بالحق يفصل الآيات لقوم يعلمون }[يونس: 5] فقدرة الله تعالى وحدها جعلت الشمس الحارقة رحمة ودفئاً ومصدراً للطاقة .

تعتمد الحياة الموجودة على الأرض بجميع صورها على ما ترسله الشمس من حرارة وضوء. ولقد كان للتدفق المنتظم للحرارة والضوء من الشمس دور أساسي في تنمية الحياة وتطورها على الأرض، التي لم يكن من الممكن أن توجد بدونها وبدون تدفق إشعاعاتها في انتظام واستمرارية.

2-2 الخصائص الطبيعية للشمس: Natural Characteristics of The Sun

الشمس نجم غازي متوهج في النظام الشمسي، تدور حولها جميع الكواكب ومن بينها كوكب الأرض وأجسام أخرى تدور ضمن مدارات ثابتة حول الشمس، تتكون من الهيدروجين حوالي 80% ، و 19% من الهليوم و 0.1% من عناصر أخرى، حيث تستمد الشمس طاقتها من التفاعلات الحرارية النووية (الاندماج النووي) قرب مركزها، وهذه التفاعلات تحوِّل الهيدروجين إلى الهليوم، حيث تفقد الشمس خلالها 4.3 مليون طن كل ثانية من كتلتها التي تبلغ حوالي $1.986x10^{30}$ Kg. ويتم تحويل هذه الكتلة إلى طاقة مشعة، بحيث كل متر مربع من سطح الشمس تبعث قوة إشعاعية مقدارها 1،63 MW [7].

تطلق الشمس بالإضافة إلى الضوء والحرارة أنواعاً شتى من الإشعاعات، منها الموجات الراديوية، والأشعة فوق البنفسجية، والأشعة السينية، ولا يصل إلى الأرض إلا كمية قليلة من الاشعاع الشمسي، غير أن هذه الكمية تكفي لجعل الحياة ممكنةً على سطح الأرض. ولما كانت سرعة الضوء هي 3×10^8 m/s ، فإنه يقطع المسافة من الشمس إلى الأرض في مدة 8 دقائق و20 ثانية. وحرارة الشمس مرتفعة بالنسبة إلى حرارة الأرض بملايين الأضعاف إذ تبلغ درجة حرارة مركزها حوالي $15 \times 10^{+6}$ درجة مطلقة ثم تتدرج درجة حرارتها في الانخفاض حتى تصل عند السطح إلى 5762 درجة مطلقة يسمى الجزء الداخلي من الشمس جوف الشمس، حيث تبلغ درجة الحرارة فيه ما يقرب من 15,000,000 K وفيه تحدث التفاعلات الحرارية النووية، وتقع منطقة الإشعاع وراء جوف الشمس، وتشغل الثلث الأوسط من الشمس، وتصل درجة الحرارة فيه إلى ما يقرب من 2,500,000 K، والطاقة المنبعثة من جوف الشمس تتدفق من خلال منطقة الإشعاع في اتجاه سطحها. ويسمى هذا التدفق الحراري

بالإشعاع، وتبدأ منطقة الحَمْل على بعد ثلثي المسافة من المركز، وتنتهي إلى بعد 220 Km من سطح الشمس، وتصل الحرارة في هذه المنطقة إلى 1,100,000 K، حيث يتم دفع الغازات في تحركات عنيفة تسمى الدوامات، هذه التحركات هي المسؤولة عن نقل معظم الطاقة الشمسية نحو السطح، أما سطح الشمس أو المنطقة المرئية فيبلغ سمكها نحو 550 Km ودرجة حرارتها 5762 K.

تنبعث الطاقة الشمسية من المنطقة المرئية على هيئة حرارة وضوء. ويتكون الضوء الذي ينطلق من المنطقة المرئية من ألوان عديدة متفاوتة في اللمعان. وهناك عناصر مختلفة في الطبقة المرئية تمتص بعض هذه الألوان وتمنع بذلك انطلاقها من الشمس ، ثم تأتي طبقة الفوتوسفير (ما فوق السطح) حيث تصل درجة الحرارة على مسافة 160 Km فوق المنطقة المرئية إلى ما يقرب من 4,000 K. منطقة صغيرة تعرف باسم الكروموسفير تقع فوق الفوتوسفير.

تظهر الشمس من الأرض على شكل دائرة وغالباً ما يطلق العلماء على ما نراه منها اسم القرص. يبلغ قطر الشمس 1,392,000 Km.

لا تبتعد الشمس عن الأرض كما تبتعد النجوم الأخرى، حيث تتراوح المسافة بين الأرض والشمس بين 147,100,000 Km و 152,100,000 Km ويرجع هذا الاختلاف إلى أن الأرض تدور حول الشمس في مدار بيضوي الشكل، ويبلغ متوسط المسافة بينهما 150 مليون كم تقريبا، بما أن المسافة بين الشمس والأرض ليست ثابتة بل تتغير فإن شدة الاشعاع الشمسي أيضا تتغير وتتراوح بين $1325\ W/m^2$ و $1420\ W/m^2$ و تعتبر القيمة الوسطية هي الثابت الشمسي الذي يبلغ: $1367\pm2\ W/m^2$. ويمكن قياس هذه القيمة خارج الغلاف الجوي عند سطح عمودي على إشعاع الشمس.

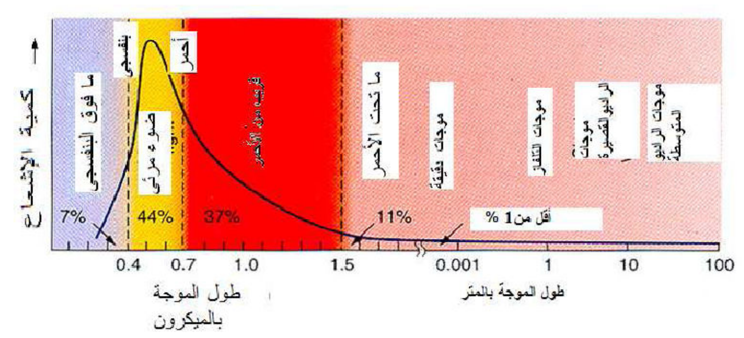
2-3 الإشعاع الشمسي على سطح الأرض:

Solar Radiation on the Surface of the Earth

ينتقل الإشعاع الشمسي بسرعة تقدر بـ 300000 كلم في الثانية، وقد وجد أن الشمس تشع بمعدل $3.85x10^{23}$ KW ولا تلتقط الأرض إلا قسما ضئيلا جدا من هذا الإشعاع والذي يقدر بـ $1.7x10^{14}$ KW

يتميز الإشعاع الشمسي بموجات مختلفة الأطوال تسمى بالطيف الشمسي وهي تمتد من الموجات القصيرة الى الموجات الطويلة وهي عبارة عن مركب من الموجات الكهرطيسية وموجات الراديو وأشعة ما تحت الحمراء والأشعة المرئية والأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية وأشعة جاما، بالإضافة إلى كمية قليلة من الجزيئات على شكل إلكترونات وأيونات أخرى تنطلق في بعض الأحيان من الشمس[7]، وتختلف كمية هذا النوع من الموجات كثيرا وهي تتوزع كما يلي:

% 7 من الأشعة ما فوق البنفسجية (ultra violet) و %44 من الأشعة المرئية التي تبدأ من 0.4µm إلى 0.74µm و%49 من الأشعة ما تحت الحمراء (infra red) التي طول موجاتها أكبر من0.74µm وتتميز الأشعة التي تصدر من الأرض بطول موجة تفوق 3µm عكس الأشعة الشمسية التي تعتبر من الموجات القصيرة، كما في الشكل (2-1)



الشكل (2-1) التوزيع الطيفي لشدة الاشعاع الشمسي

4-2 أثر الغلاف الجوي على الإشعاع الشمسي :

Impacted the Atmosphere to Solar Radiation

تقاس عادة على الأرض قيم تقلّ كثيراً عن الثابت الشمسي، وهذا يعود إلى تناقص شدة الإشعاع أثناء عبور الغلاف الجوي، ونميز هنا بين[8]:

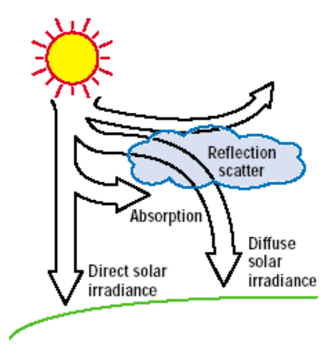
- التناقص بسبب الانعكاس على الغلاف الجوي
- التناقص بسبب امتصاص جسيمات الغاز المختلفة (O_3,H_2O, CO_2,O_2) الموجودة في الغلاف الجوي لجزء من الإشعاع.
- التناقص وفق توزع رايلي Rayleigh ويحدث عند الجزيئات المكونة للهواء والتي يكون قطرها أصغر بشكل واضح من طول موجة الضوء، ويزداد هذا التوزع بتناقص طول الموجة .
- أما التناقص وفق توزع مي Mie فمرده إلى ذرات الغبار أو شوائب الهواء، ويكون قطر هذه الجسيمات أكبر من طول موجة الضوء، وهذا التوزع مرتبط بشدة بموقع المنطقة، فهو أصغر ما يكون عند الجبال العالية، ويبلغ قيمته القصوى في المناطق الصناعية ذات شوائب الهواء الكثيرة.

وهكذا فإن الإشعاع الشمسي أثناء طريقه في الغلاف الجوي يتعرض للانتشار، وكمية الإشعاع المنتشر (diffuse radiation) تعتمد على كمية الغيوم الموجودة في الجو. حيث يصل قسم منه إلى الأرض في كل الاتجاهات، وبدونه فإن السماء تبدو سوداء اللون،كما إن الضوء ينعكس على جسيمات الغلاف الجوي وعند شروق الشمس فإن قسما من الإشعاع الضوئي يصل إلى الأرض من السماء مباشرة ويسمى بالإشعاع المباشر (direct radiation)، ومجموع الإشعاعين المباشر $E_{\mathrm{dir,hor}}$ والمنتشر $E_{\mathrm{diff,hor}}$ يسمى الإشعاع الشمسي الكلي (Global solar radiation) $E_{\mathrm{G,hor}}$، أي أن الإشعاع الشمسي الكلي الوارد على سطح الأرض الأفقي يعطى بالعلاقة:

$$\boldsymbol{E_{\mathrm{G,hor}} = E_{\mathrm{dir,hor}} + E_{\mathrm{diff,hor}}} \qquad (1-2)$$

وبينما يتألف الضوء في الفضاء من ضوء شمسي مباشر، فإنه عند سطح الأرض الأفقي يتألف من جزئين أحدهما مباشر والآخر منتشر، الشكل (2-2). وبسبب الإشعاع الشمسي المباشر تنشأ مواقع تكون

في الظل لأن ضوء الشمس لا يأتي إلا من اتجاه الشمس. أما ضوء الشعاع المنتشر فهو على العكس لا يملك اتجاهاً محدداً.



الشكل (2-2) الإشعاع الشمسي المباشر والمنتشر

ويستفاد من الإشعاع الشمسي المباشر والمنتشر في التطبيقات الحرارية وفي التحويل الكهروشمسي، بينما يستفاد من الإشعاع المباشر فقط في المنظومات التي تعمل بدرجات حرارة عالية والتي تستخدم في توليد الطاقة الكهربائية.

2–5 أجهزة قياس الإشعاع الشمسي Solar Radiation Measurement Instruments:

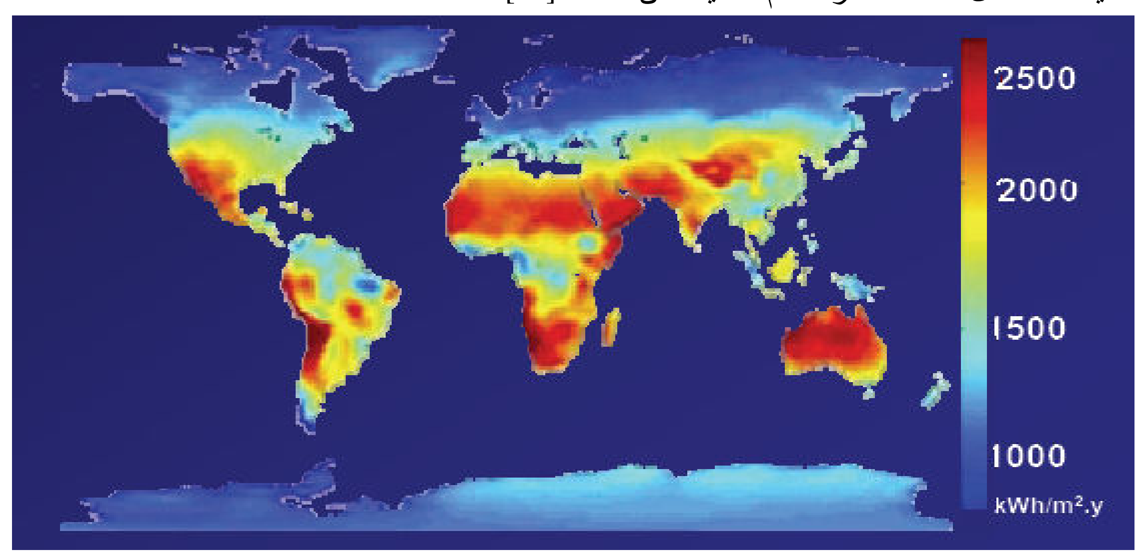
يقاس الإشعاع الشمسي الكلي بجهاز يدعى البيرانومتر (Pyranomater) والموضح في الشكل (2-3) من الأعلى إلى اليسار، وهو عبارة عن جهاز يقيس الإشعاع من القبة السماوية بزاوية 180°. ويقاس الإشعاع المباشر بجهاز يدعى البيروليومتر (Pyrhliometer) وهو جهاز شبيه بالمنظار الفلكي (التلسكوب)، والذي يوضع على جهاز يتبع الشمس في حركتها خلال النهار، وهو موضح في الشكل من الأسفل إلى اليسار. أما الإشعاع المنتشر فإنه يقاس بنفس جهاز قياس الإشعاع الكلي ولكن بعد حجز الإشعاع المباشر عن عنصر القياس وذلك بوساطة تركيب شريط مقسم على شكل قوس لتوليد الظل على جهاز البيرانومتر، ويبدو إلى اليمين في الشكل (2-3)[9]



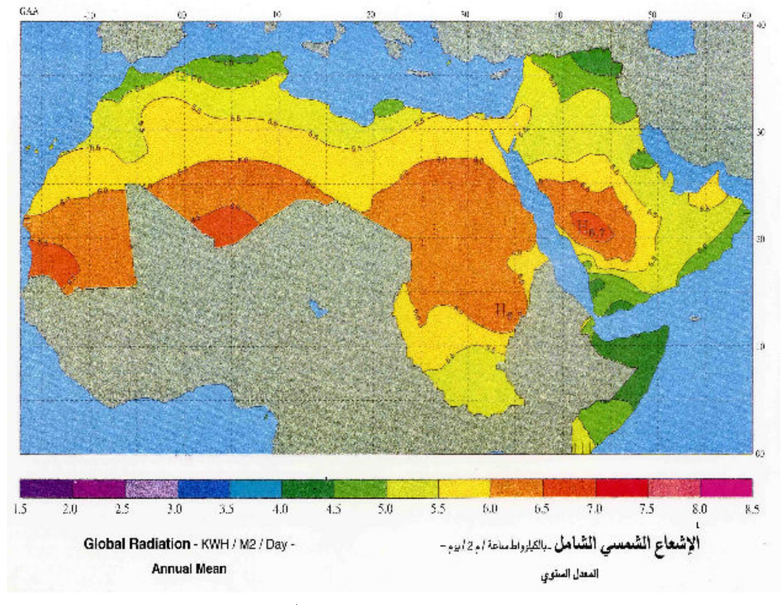
الشكل (2-3)أجهزة لقياس الإشعاع الشمسي

2 -6 الإشعاع الشمسي في الوطن العربي :The Solar Radiation In The Arab world

تتمتع الدول العربية بوفرة كبيرة في مصادر الطاقة المتجددة النظيفة وخاصة طاقة الشمس والرياح، الخريطة المبينة في الشكل (2-4) للإشعاع الشمسي في العالم تبين أن دول العالم العربي تتمتع بأفضل قيم من الإشعاع الشمسي[10]، والتي تتراوح بين KWh/m².year 2800 -1900.حيث تستقبل معظم الدول العربية كثافة إشعاع شمسي تقارب هذه القيمة لكونها تتمتع بجو صاف خال من الغيوم معظم أيام السنة، إذ يتلقى الوطن العربي قيماً عالية من الإشعاع الشمسي كما في الشكل (2-5)، وتسطع الشمس خلال العام قرابة 3300 ساعة في جميع أنحائه، كما ذكرنا سابقاً، وبهذا تكون الدول العربية من أكثر دول العالم تأهيلاً لاستغلال هذا المصدر الدائم النظيف من الطاقة [11].



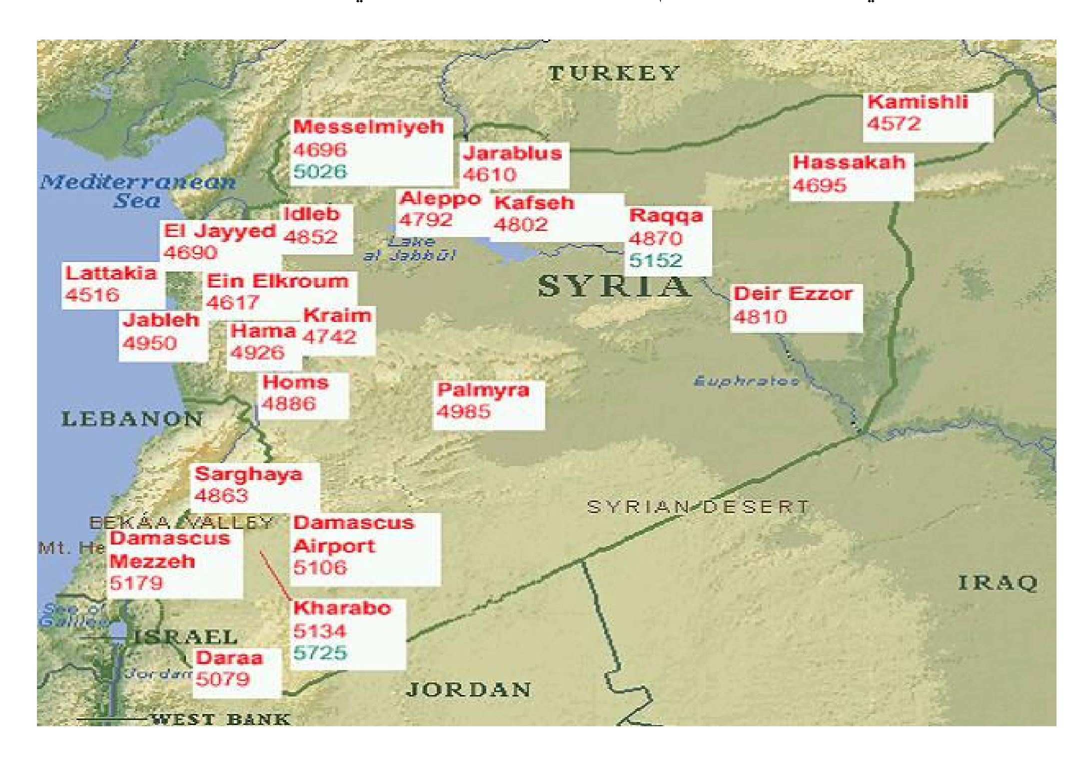
الشكل (2-4)أطلس الإشعاع الشمسي في العالم



الشكل (2-5)اطلس الإشعاع الشمسي في الوطن العربي

2-7 واقع الإشعاع الشمسي في سوريا:Solar Energy in Syria

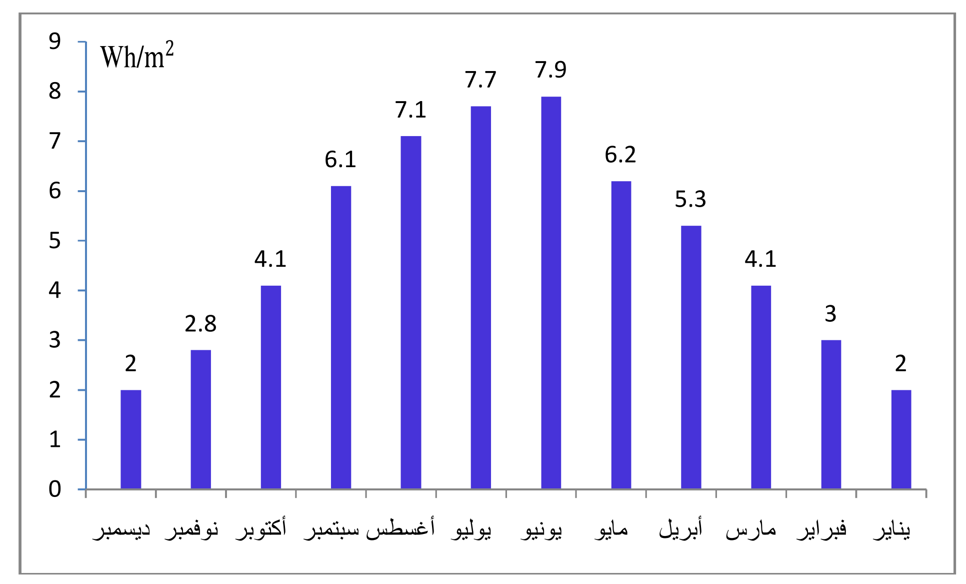
تتمتع سورية بوضع جغرافي مناسب للاستفادة من الطاقة الشمسية حيث يبلغ معدل متوسط الإشعاع الشمسي، الشكل (2-6)، الوارد إلى المتر المربع الواحد ما قيمته 5.1 Kwh في اليوم أي ما يعادل 1970 Kwh في السنة لكل متر مربع من مساحة القطر البالغة 185000 Km^2 و تتراوح فترة السطوع بين 2820-3270 ساعة في السنة و عدد الأيام الغائمة بين 38-45 يوماً في السنة[12].



الشكل (2-6) أطلس الاشعاع الشمسي في سوريا

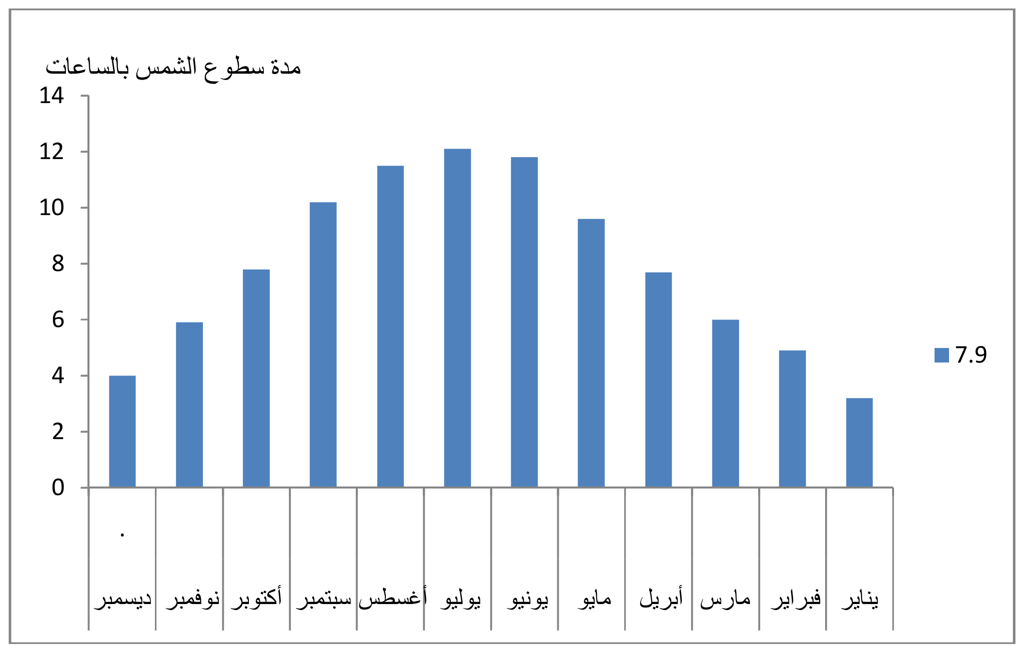
2-8 واقع الإشعاع الشمسي في مدينة حلب:Solar Energy in Aleppo

يوضح الشكل (2-7) المعدلات اليومية لكل شهر للإشعاع الشمسي الكلي الوارد على سطح أفقي خلال مختلف الأشهر، والمقاسة من قبل المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم (إدارة العلوم والبحث العلمي) في منطقة المسلمية من مدينة حلب والملاحظ في هذا الشكل بأن حلب غنية بالإشعاع الشمسي على مدى العام ويكون أكثر ما يمكن في شهر يونيو (حزيران) بقيمة وسطية قدرها 7.9 KWh/m^2 وأقل ما يمكن في شهر يناير (كانون الأول) بقيمة وسطية قدرها 2 KWh/m^2 وبالتالي فإن متوسط شدة الإشعاع الشمسي على مدى العام سوف يكون حسب الشكل (2-7) هو القيمة 4.9 KWh/m^2، وبالتالي فمصادر الطاقة الشمسية متوفرة في مختلف أنحاء المنطقة المدروسة، ولا يزال استثمارها محدوداً جداً لا يتعدى مستوى المشاريع الإرشادية في مجال التحويل الكهروشمسي للطاقة الشمسية من قبل مركز الدراسات والبحوث العلمية، ويبدو أن الأمر يتطلب تضافر الجهود وتوسيع آفاق التعاون بين المؤسسات المختلفة[11].



الشكل (2-7) المعدلات الشهرية اليومية للإشعاع الشمسي الكلي الوارد في مدينة حلب

والشكل (2-8) يبين المعدّل الشّهري لمدة سطوع الشمس اليومية وتغيّراتها خلال أشهر السنة، في منطقة المسلمية في مدينة حلب، ونجد أن المعدل السنوي لسطوع الشمس هي 7.9 ساعة.



الشكل (2-8) المعدّل الشّهري لمدة سطوع الشمس اليومية في مدينة حلب

الفصل الثالث

أساسيات الخلايا الشمسية

Basics of solar cells

1-3 مقدمة: Introduction

يعود اكتشاف الأثر الكهرضوئي إلى القرن الماضي الميلادي عندما قام العالم بكيرل (Becquerel) في عام 1839 م بدراسة تأثير الضوء على بعض المعادن والمحاليل وخصائص التيار الكهربائي الناتج عنها، كما أدخل العالمان أدمز و سميث (Adams & Smith) مفهوم الناقلية الكهرضوئية لأول مرة عام 1877م وتم تركيب أول خلية شمسية من مادة السيلينيوم (Se) من قبل العالم فريتز (Fritts) عام 1883م حيث توقع لها أن تساهم في إنتاج الكهرباء مستقبلاً، وقد سجل عام 1941م تصنيع أول خلية شمسية سيليكونية بكفاءة لا تتجاوز (1%)، ولكن لم يبدأ الاستخدام الفعلي لها إلا في عام 1954 بعد أن قامت مختبرات بل الأمريكية (Bell Lab) في تصنيع خلية شمسية بكفاءة بلغت (6%) حيث كان الاعتماد على الخلايا الشمسية كمصدر رئيسي للكهرباء في التطبيقات الفضائية وقد ظل استخدام الخلايا الشمسية مقصوراً على إمداد الكهرباء للمركبات الفضائية والأقمار الصناعية حتى عام 1975، حيث بدأ في هذا العام التفكير الجدي في توسيع استخدام الخلايا الشمسية لتوليد الكهرباء لمختلف الاستخدامات كبديل عن المصادر التقليدية للطاقة.

2-3 تعريف الخلية الشمسية :The Definition of Solar Cell

هي أداة إلكترونية تصنع من مواد نصف ناقلة Semiconductors، تحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية بشكل مباشر، وهي عبارة عن متصلات ثنائية p-n، حيث يعتمد مبدأ عملها على الفعل الفوتوفلطائي Photovoltaic Effect، و تصنع معظم الخلايا الشمسية المتوفرة حالياً في الأسواق من مادة السيلكون.

لنلقي نظرة أعمق إلى مثال من خلية شمسية(PV) هي خلية السيليكون وحيدة البللورة بدءاً من اساسياتها الفيزيائية.

3-3 أساسيات فيزياء أنصاف النواقل:Basic Semiconductor Physics

1-3-3 تصنيف المواد: Classification of materials

يمكن تصنيف المواد عموماً إلى نواقل conductors وعوازل insulators وأنصاف نواقل وفقا لقيمة المقاومة النوعية عند درجة الحرارة العادية[13].

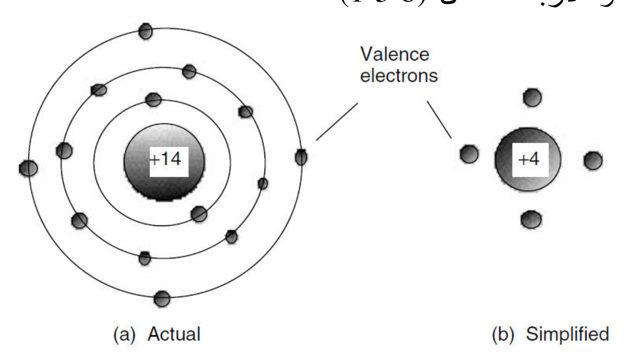
وأنصاف النواقل هي عناصر من المجموعة الرابعة Group IV للجدول الدوري للعناصر مثل السيليكون Si والجرمانيوم Ge ، وارتباط عنصرين من المجموعة III و V أي ما يسمى روابط III – V مثل زرنيخ

الغاليوم GaAs ، وروابط VI− II مثل تيلوريد الكادميوم CdTe أو الجمع بين عناصر مختلفة كما هو مبين في الجدول (3-1) .

الجدول (3-1) جزء من الجدول الدوري يبين أنصاف النواقل ومركباته

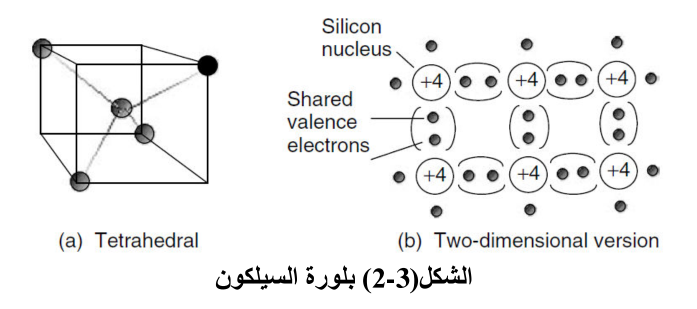
I	II	III	IV	V	VI
		5 B	6 C	7 N	8 O
		13 Al	**14 Si**	**15 P**	16 S
29 Cu	30 Zn	**31 Ga**	32 Ge	**33 As**	34 Se
47 Ag	**48 Cd**	49 In	50 Sn	51 Sb	**52 Te**

وتصنع معظم العناصر المصنعة من أنصاف النواقل Semiconductor devices مثل: الترانزستورات والثنائيات وحتى الخلايا الكهروضوئية من السيليكون Si الذي يتواجد بكثرة في القشرة الأرضية، وهو يملك 14 إلكتروناً يتوزع على ثلاث مدارات كما هو مبين في الشكل (1-3-a) بحيث يبقى 4 الكترونات في المدار الخارجي هي الكترونات التكافؤ و ترسم عادة كدائرة في نواتها 4 شحنات موجبة +4 charge وحولها الكترونات التكافؤ الأربعة الشكل (1-3-b) .



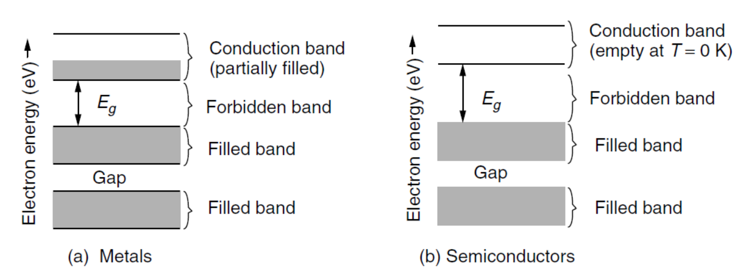
الشكل(3-1) توزع الإلكترونات في ذرة السيلكون

ويبين الشكل (2-3-a) ما يسمى بوحدة الخلية لبلورة السيلكون،وتتكرر وحدة الخلية هذه لتؤلف البنية البلورية، وتترابط الذرات ضمن البنية البلورية كما هو مبين في الشكل (2-3-b) بحيث تتشارك كل ذرتين متجاورتين بالكتروني تكافؤ.ونسمي مثل هذا الارتباط رابطة التكافؤ المشترك وهي ممثلة في الشكل بخطين مقوسين.



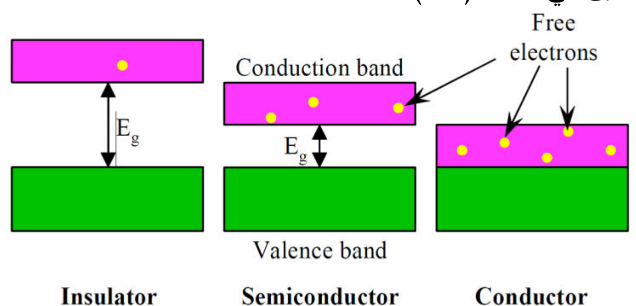
الشكل(3-2) بلورة السيلكون

وفي نموذج الحزم فإن حزمة التكافؤ في أنصاف النواقل تكون مملوءة تماماً و حزمة التوصيل فارغة من الالكترونات مما يجعلها تبدو كعوازل، بينما في المعادن تكون حزمة التوصيل مملوءة جزئياً مما يسمح للالكترونات بالتحرك بسهولة كما في الشكل (3-3).



الشكل(3-3) حزم الطاقة

يفصل حزمة التكافؤ عن حزمة الناقلية فجوة تسمى بالحزمة الممنوعة forbidden band ولذلك حتى ينتقل إلكترون من حزمة طاقة سفلى إلى حزمة طاقة عليا يجب أن يزود بطاقة أكبر من عرض الحزمة الممنوعة Eg. ويمكن مقارنة النواقل وأنصاف النواقل والعوازل انطلاقاً من عرض الحزمة الممنوعة التي تفصل بين حزم الطاقة حيث تكون كبيرة في العوازل وتبلغ قيمتها eV [3–15] وتكون أصغر في أنصاف النواقل وتبلغ قيمتها eV [3– 0.5] بينما تكون معدومة في النواقل حيث تتداخل حزمة التكافؤ وحزمة الناقلية كما هو مبين في الشكل(3-4).



الشكل(3-4) الحزمة الممنوعة لمختلف المواد

3-3-2 الفعل الكهرضوئي:The Photoelectric Effect

الضوء: هو حالة من حالات المادة ويمثل طاقة إشعاعية، ويتم انتقال الطاقة على شكل أمواج كهرومغناطيسية وتدعى طاقة الكم، وفي الطيف الكهرومغناطيسي يدعى هذا الكم بالفوتون.

عندما تتعرض مادة السيليكون النصف ناقلة إلى تأثير الضوء، يؤدي تأثير فوتونات الضوء على الكترونات التكافؤ إلى كسر الروابط المشتركة،أي يؤدي إلى توليد أزواج من الإلكترونات الحرة والثقوب كما هو مبين في الشكل.(5-3-a) . بشرط أن تكون طاقة الفوتون E أكبر من طاقة عرض الحزمة الممنوعة Eg (للسيليكون Eg = 1.12 eV) [13].

طاقة الفوتون E والتي تقدر بـ (J) تعطى بالعلاقة التالية:

$$E = h\nu = hc/\lambda \qquad (1\text{-}3)$$

$$c = \lambda v \qquad (2\text{-}3)$$

حيث أن c سرعة الضوء، ν تردد موجة الضوء وتقدر بـ (hertz)، λ طول الموجة وتقدر بـ (m)، h ثابت بلانك وقيمته (6.626×10^{-34} J.s).

إذاً:

$$E = hc/\lambda = 6.626 \times 3 \times 10^{8} \times 10^{-34}/\lambda$$

أما إذا أردنا حساب الطاقة بوحدةeV فإننا نقوم بالتحويل التالي:

حيث: (1 eV = 1.6 × 10−19 J)

وبالتالي تصبح علاقة الطاقة :

$$E = 6.626 \times 3 \times 10^{8} \times 10^{-34} \times 6.24 \times 10^{+18}/\lambda \quad \text{eV}$$

$$E = 1.24 \times 10^{-6}/\lambda \quad \text{eV}$$

وللحصول على تفكك الروابط يجب أن يحقق طول الموجة للضوء المسلط العلاقة التالية:

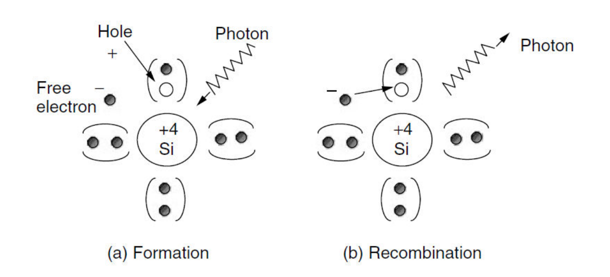
$$Eg = 1.24 \times 10^{-6}/\lambda_{\circ} \Longrightarrow \lambda_{\circ} = 1.24 / Eg \quad \mu.m$$

ولكي تكون $E > Eg$ يجب ان تتحقق العلاقة التالية : $\lambda < \lambda_{\circ}$

حيث $\lambda_{\circ}$ مقدرة بـ (μ.m) هي الطول الأعظمي لموجة الضوء المسلطة على المادة النصف ناقلة لتحرير الكترونات التكافؤ.

ونجد للسيلكون مثلاً أن $\lambda_{\circ} = 1.1$ μ.m ، ولذلك فإن جميع الأطوال الموجية في نطاق الضوء المرئي (0.4÷0.7μ.m) وجزء من نطاق الأشعة تحت الحمراء التي لها $\lambda > 0.7$ μ.m *تحقق شرط* تحرير الكترونات التكافؤ *لأن* $\lambda < \lambda_{\circ}$.

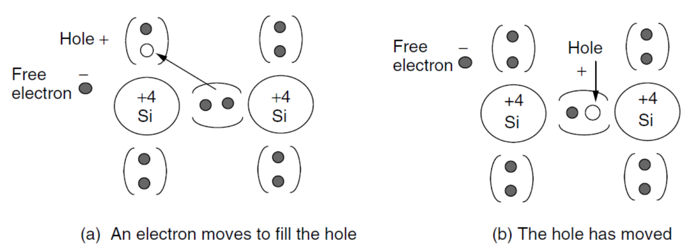
وتعتبر العملية المعاكسة ممكنة أيضاً، أي عند حدوث إعادة إتحاد بين الإلكترونات الحرة والثقوب يتولد فوتون، وهذا أساس عمل الثنائيات الباعثة للضوء (LEDs) كما في الشكل. (5-3-b)



الشكل(3-5) الفعل الكهرضوئي

من الواضح أن تفكك الروابط الثنائية يؤدي إلى تحرير إلكترون وظهور ثقب مكانه كما هو مبين في

الشكل(3-6)، وتسمى الإلكترونات الحرة والثقوب بحاملات الشحنة Charge Carrier لاشتراكهما في نقل التيار الكهربائي.



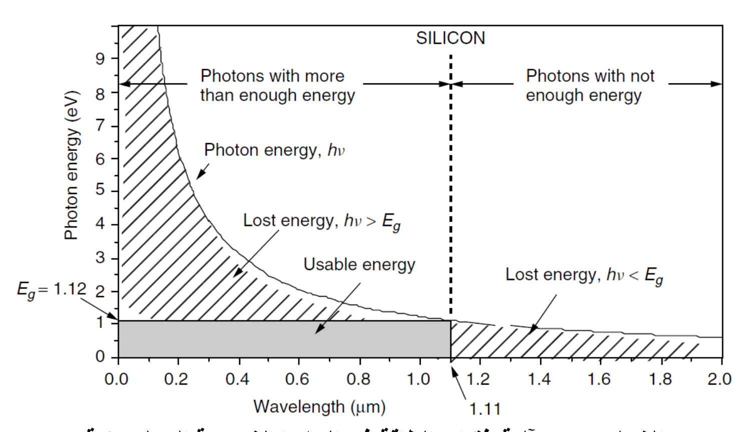
الشكل(3-6) حاملات الشحنة

3-3-3 آلية فقدان حاملات الشحنة في الخلايا الشمسية السيليكونية: losses in silicon solar cells

عند استخدام طاقة شمسية من أجل سماكة غلاف جوي بمقدار AM1.5 ولما كان السيليكون بعرض الحزمة الممنوعة 1.12 eV فإن الخلايا الشمسية السيلكونية تعاني من خسارات في حاملات الشحنة المتولدة وذلك عندما تكون طاقة الفوتون كبيرة $h\nu > Eg$ بما يكفي لتحرير هذه الحاملات ولكن بطاقة كبيرة فإن هذه الحاملات المتحررة تفقد طاقتها عند حدود الحزمة الممنوعة ، وذلك بعملية إطلاق حراري وتكون هذه العملية غير مفيدة، بعكس عمليات تحرير الحاملات التي تتسرب ويعاد اتحادها ولذا تكون مفيدة بإنتاجها للطاقة، وعندما يكون الفوتونات ذات طول موجة أكبر من 1.11 µm فإنها لا تملك الطاقة 1.12 eV الكافية لتحرير الحاملات وبالتالي فهذه الطاقة ضائعة كما هو مبين في الشكل (3-7)[13] بقية العناصر لها عرض حزمة ممنوعة وأطوال موجية مبينة بالجدول(3-2).

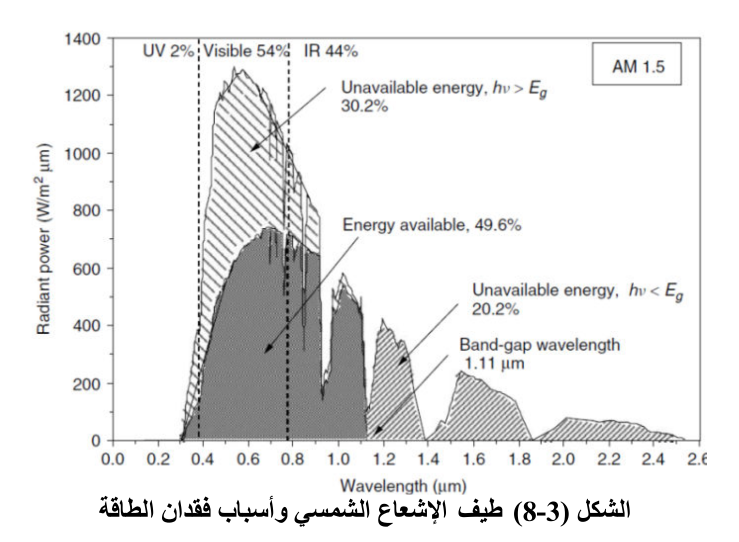
الجدول(3-2) عرض الحزمة الممنوعة والأطوال الموجية لبعض العناصر

Quantity	Si	GaAs	CdTe	InP
Band gap (eV)	1.12	1.42	1.5	1.35
Cut-off wavelength (µm)	1.11	0.87	0.83	0.92



الشكل (3-7) آلية فقدان الطاقة في الخلايا الشمسية السيليكونية

ومن دون الخسائر الناتجة عن انعكاس الإشعاع الشمسي فإن الخسائر الناتجة عن عملية الإطلاق الحراري تبلغ 30.2% من الطاقة الواردة، و عندما تكون طاقة الفوتون أقل من عرض الحزمة الممنوعة للمادة نصف الناقلة (hv < Eg) فإن هذه الخسارة تمثل ما يعادل 20.2% عند طاقة إشعاع من أجل سماكة غلاف جوي بمقدار AM1.5 إن تلك الخسائر تؤدي إلى تخفيض مردود التحويل لخلية شمسية سيليكونية وحيدة المتصل إلى ما يقارب 49.6%. كما هو مبين في الشكل (3-8) .

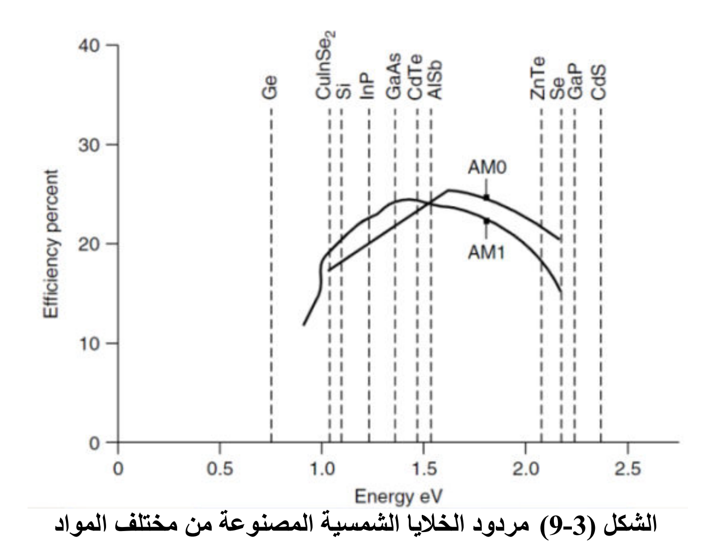


الشكل (3-8) طيف الإشعاع الشمسي وأسباب فقدان الطاقة

إن مردود الخلايا الشمسية المصنوعة من مختلف المواد لا تتجاوز 20–25% كما هو مبين في الشكل (3-9) فما هو السبب في انخفاض المردود من 49.6% ؟

السبب في ذلك يعود إلى:

- خسائر ضوئية نتيجة انعكاس الإشعاع الشمسي على سطح الخلية الشمسية ويمكن السيطرة على هذه الخسائر جزئيا باستخدام تقنيات منع الانعكاس السطحي.
- خسائر نتيجة عمليات إعادة الاتحاد: وتتضمن إعادة الاتحاد ضمن منطقة القاعدة والباعث والمنطقة الناضبة والسطحين الأمامي والخلفي، وقد تبين أنه عند الاستطاعة العظمى فإن خسائر إعادة الاتحاد في منطقة القاعدة تمثل نصف الخسارة تقريبا أما باقي الخسارة فتوزع ما بين باقي عمليات إعادة الاتحاد.
- خسائر نتيجة المقاومة المتسلسلة للخلية الشمسية: وتنجم عن مقاومة كل من منطقة القاعدة والباعث ومنطقة الاتصال والتماس المعدني.

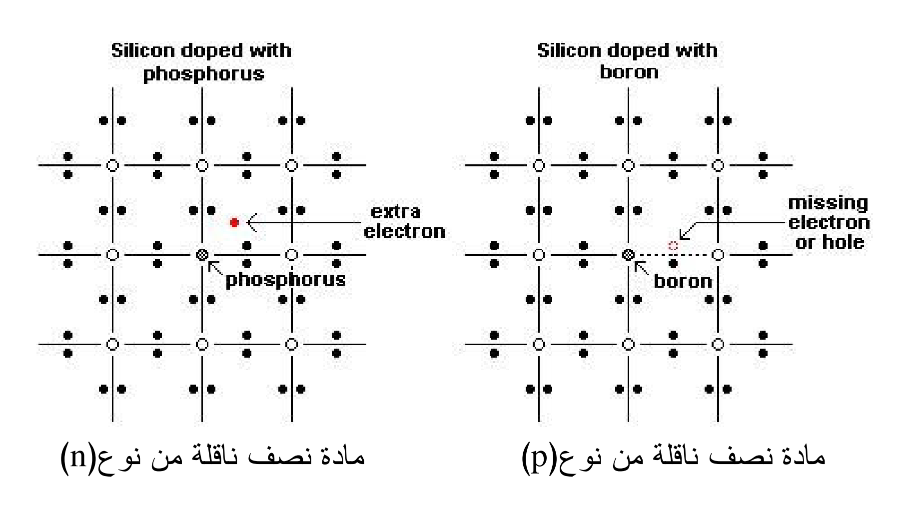


الشكل (3-9) مردود الخلايا الشمسية المصنوعة من مختلف المواد

4-3-3 أنصاف النواقل ذات الشوائب: Semiconductors with impurities

في حالة المادة نصف الناقلة النقية يكون تركيز الثقوب p مساوياً تركيز الالكترونات الحرة n، ويمكن أن تضاف له عن عمد شوائب من مواد مناسبة بحيث يصبح n>p أو p>n.ويقال عن نصف الناقل بعدئذ أنه مشوب Doping أو غير نقي Impure .

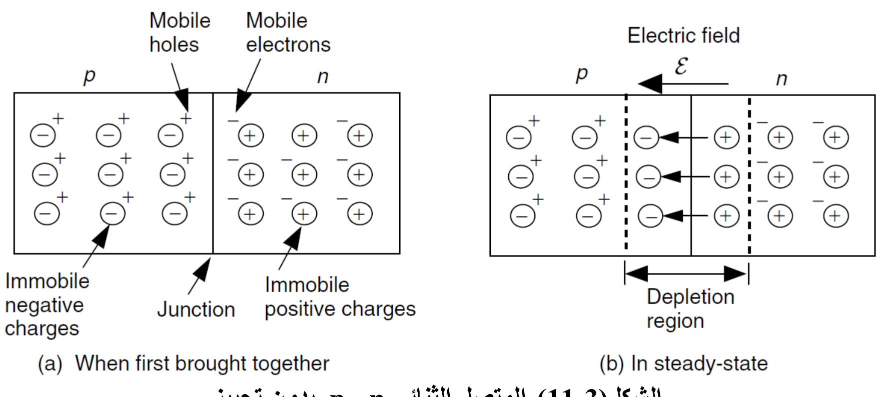
ففي أنصاف النواقل المصنوعة من السيليكون البلّوري نحصل على المادة نموذج (n) بعد أشابتها بكميات قليلة جداً من مادة الفوسفور التي تملك إلكترونات حرة فائضة، لذلك فإن السيليكون المشوب بهذه الطريقة يعرف كنموذج المادة النصف ناقلة من النوع (n) أما أنصاف النواقل نموذج (p) فهي مصنوعة من السيليكون البلّوري أيضاً ، لكنها مشابة بكميات صغيرة جداً من مادة البورون والتي تجعل المادة في نقص للإلكترونات الحرة. هذا "الفقد" للإلكترونات يدعى بالثقوب، والسيليكون المشوب بهذه الطريقة يعرف كنموذج المادة النصف ناقلة من النوع (p) كما هو مبين في الشكل(3-10).



الشكل(3-10)مادة السيليكون المشوبة بنوعيه

5−3−3 المتصل الثنائي p - n : The p – n Junction Diode

في الشكل (11-3-a) عندما يتشكل المتصل في البداية نلاحظ حاملات الشحنة القابلة للحركة في المنطقة p هي الثقوب .وحاملات الشحنة القابلة للحركة في المنطقة n هي الإلكترونات.ثم لا تلبث هذه الحاملات القريبة من منطقة الاتصال حتى تنتقل عبرها، حيث تتسرب الثقوب من المنطقة p الى المنطقة n وكذلك الإلكترونات من المنطقة n إلى المنطقة p والمنطقة حول المتصل استنزفت من حاملات الشحنة (ثقوب و إلكترونات) حيث تتحد الثقوب مع الإلكترونات و لذلك تعرف بالمنطقة المجردة Depletion region وينشأ حقل كهربائي Electric field بعكس حركة الحاملات حيث أنه سالب على الطرف (p) وموجب على الطرف (n)، مما يؤدي الى توقف عملية التسرب و هذه هي الحالة المستقرة-steady state.الشكل(11-3-b)[13].



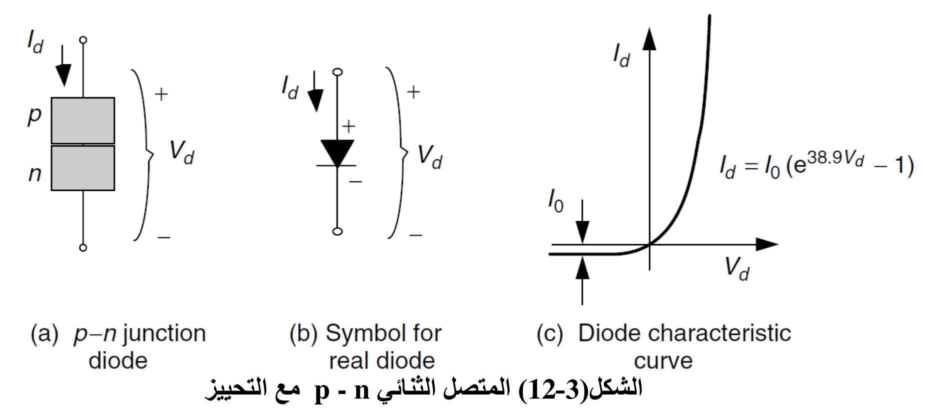
الشكل(11-3) المتصل الثنائي p - n بدون تحييز

وهكذا يتألف المتصل الثنائي p-n من وصلة بين طبقتين رقيقتين من مادتين نصف ناقلتين مختلفين، يعرفان على التتالي (p) النموذج الموجب، و(n) النموذج السالب، كما في الشكل(a -3- 12)

ويسمى الطرف الموجب(+) المصعد، ويسمى الطرف السالب(−) المهبط.ويكون رمز الثنائي كما في الشكل (b -3- 12) ، أما المنحني البياني للمتصل الثنائي p-n الذي يبين علاقة التيار المار في المتصل الثنائي I_d بالجهد المطبق عليه V_d (مميزة الفولت - أمبير) فهو موضح بالشكل (c -3- 12) ، ويكون معادلة الثنائي المثالي Diode Equation على الشكل التالي:

$$I_d = I_0(e^{qVd/kT} - 1) \qquad (3\ -3)$$

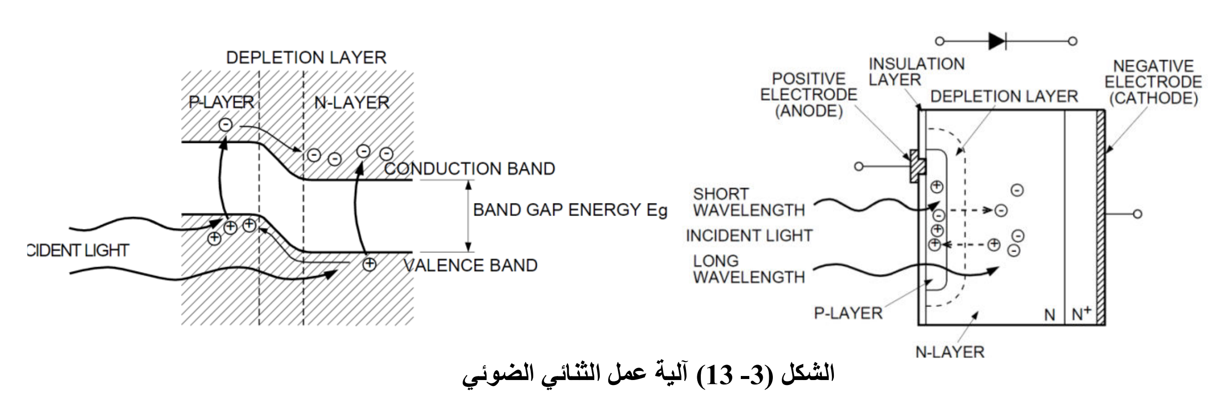
حيث يمثل I_0 تيار الإشباع العكسي للمتصل (p-n) و $k = 1.38\times10^{-23} J.K^{-1}$ ثابت بولتزمان و $e = 1.6\times10^{-19} C$ شحنة الإلكترون و T درجة حرارة الخلية وتقدر بالــ K.



الشكل(3-12) المتصل الثنائي p - n مع التحييز

3-3-6 الثنائي الضوئي: Photodiode

هو عبارة عن متصل ثنائي p-n مصمم لتحسس الضوء، حيث بتحييزه عكسياً وبتعريضه للضوء يزداد التيار العكسي الذي يمرره الثنائي، يعتمد مبدأ عمله بأنه عند تسليط الضوء على العنصر تتفكك الروابط الثنائية وتتولد أزواج من الالكترونات والثقوب الحرة، مما يؤدي إلى مرور تيار متناسب مع شدة الضوء. ويعتبر الجهد الناتج بين طبقتي p و n عندئذ كقوة محركة كهربائية(emf) electromotive force ناتجة بتأثير الضوء، كما في الشكل(3-13) .

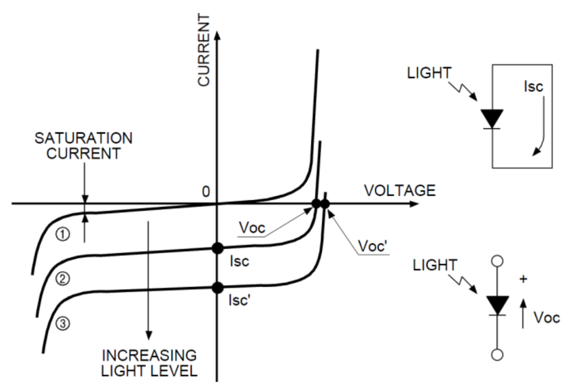


الشكل (3- 13) آلية عمل الثنائي الضوئي

الشكل(3-14) يبين مميزات الفولت – أمبير للثنائي الضوئي، ويتميز بثلاث مناطق:1- الربع الأول: ويعمل فيه كمتصل ثنائي عادي محيز أمامياً. 2- الربع الثالث: ويعمل كثنائي ضوئي وفيه يتغير تيار الثنائي الضوئي تبعاً للشدة الضوئية التي يستقبلها حيث تزداد قيمته بازدياد الشدة الضوئية بشكل طردي أي

$$(I_{light} \propto Light\ Intisity)$$

3- الربع الرابع:وفيها نحصل على جهد وتيار ناتجين عن الضوء وبدون تطبيق أي جهد على الثنائي. تسمى هذه الآلية بالفعل الفوتوفلطائي وهو أساس عمل الخلايا الشمسية التي تصمم كثنائي ضوئي ولكن بمساحة سطح واسعة نسبياً لاستقبال أكبر استطاعة ممكنة من الأشعة الشمسية.

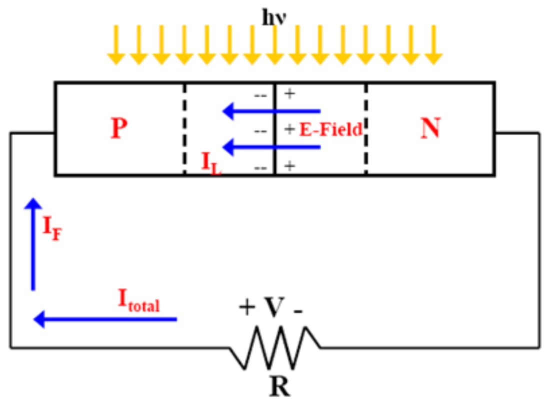


الشكل(3-14) مميزة الفولت – أمبير للثنائي الضوئي

3–4 مبدأ فيزياء الخلية الشمسية:The principle of solar cell physics

لنشرح بالتفصيل الحوادث الفيزيائية التي تحدث ضمن خلية شمسية.يلاحظ في الشكل(3-15) تجمع شحنات موجبة وأخرى سالبة ثابتة على طرفي منطقة الاتصال مشكلة حقلاً كهربائياً داخلياً (حاجز كموني) يتجه من n إلى p.

ولدى تسليط الضوء عليها تتفكك الروابط الثنائية ويتحرر زوج من إلكترون– ثقب [HEP]، Hole-Electron Pairs تتجرف الثقوب باتجاه المنطقة p بينما تتجرف الإلكترونات باتجاه المنطقة n ، ينتج عن حركة الإلكترونات والثقوب تياراً ندعوه بالتيار الضوئي I_L اتجاهه من n إلى p.

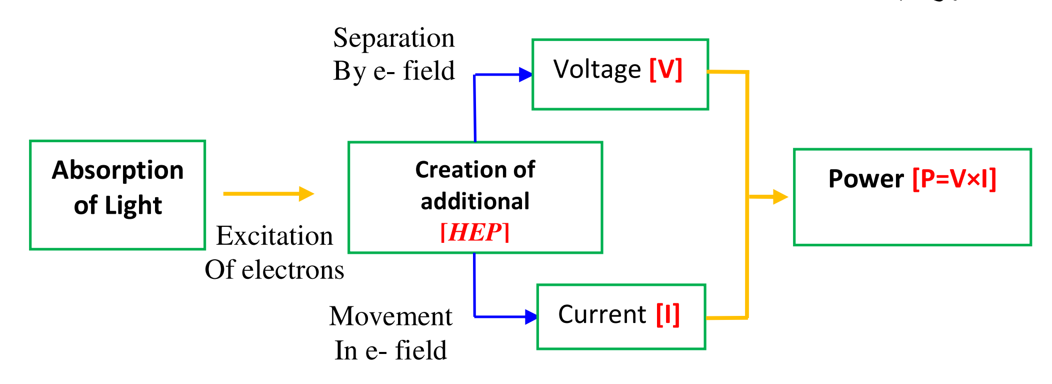


الشكل(3-15) مبدأ عمل الخلية الفوتوفولطائية

في حال وجود مقاومة R بين المنطقتين p و n فإن جزءاً من الإلكترونات سوف يسري عبر R إلى المنطقة p ليعدل شحنة بعض الثقوب الموجودة فيها، تستمر هذه العملية طالما بقي الضوء مسلطاً عليها. وهذه الإلكترونات العابرة تسبب مرور التيار I_{total} في الدَّارة الخارجية مما يخلق هبوطاً في الجهد على R له القطبيَّة الموجبة على p والسالبة على n، وهذا الهبوط في الجهدV سوف يزيح المتصل p–n باتجاه أمامي ويؤدي إلى نشوء التيار I_F يكون الجهد الخارجي هو $V = I_{total}.R$.

لكي نولد الاستطاعة، فإن الخلية تولد الجهد بالإضافة إلى التيار المزود بوساطة تدفق الإلكترونات. هذا الجهد، يزود بوساطة الحقل الكهربائي الداخلي المتشكل عند الوصلة p-n [14].

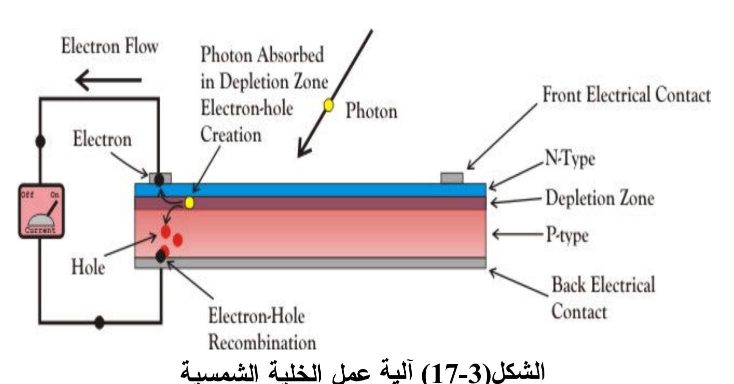
والشكل(3-16) يبين المخطط الصندوقي لآلية عمل الخلية الشمسية و كيفية تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية.



الشكل(3-16) المخطط الصندوقي لآلية عمل الخلية الشمسية

3–5 آلية عمل الخلية الشمسية:Mechanism of action of the solar cell

يمكن اعتبار الضوء بأنه يتألف من تيار من الجسيمات الصغيرة التي تدعى بالفوتونات. عندما تسقط الفوتونات القادمة من الضوء ذي طول موجة مناسبة على المتصل الثنائي p-n، تتولد حاملات الشحنة (أزواج الثقوب والإلكترون) وبالتالي تنقل طاقتها إلى بعض الإلكترونات في المادة، لذلك يتم ترقيتها إلى مستوى طاقة أعلى (حزمة الناقلية). وعندما تتحرك الإلكترونات فإنها تترك ثقوباً خلفها في حزمة التكافؤ تستطيع أن تتحرك ضمن المادة. و تصبح الإلكترونات حرة لنقل التيار الكهربائي.

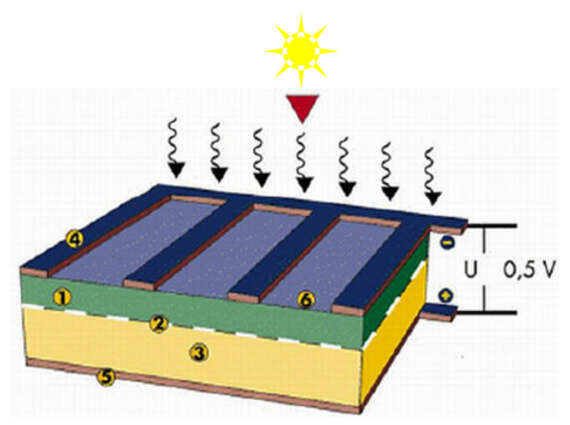


الشكل(3-17) آلية عمل الخلية الشمسية

تحت تأثير الحقل الكهربائي العكسي حول المتصل تميل الإلكترونات إلى التحرك إلى المنطقة (n) والثقوب إلى المنطقة (p). إن تدفق الإلكترونات إلى المنطقة (n) هو التيار الكهربائي. إذا وجدت دارة خارجية لتدفق التيار خلالها، فإن حركة الإلكترونات ستتدفق أخيراً خارج المادة نصف الناقلة عبر واحدة من النواقل المعدنية عند أعلى الخلية الشمسية. أثناء ذلك، ستتدفق الثقوب في الاتجاه المعاكس عبر المادة حتى تصل الناقل المعدني الأخر عند أسفل الخلية، حيث أنها بعد ذلك "تمتلئ" بالإلكترونات الداخلة من النصف الآخر للدارة الخارجية.كما هومبين في الشكل(3-17).

6-3 بنية الخلية الشمسية:The Structure of Solar Cell

تتكون الخلية الشمسية من التحام طبقتين رقيقتين من مادتين نصف ناقلتين إحداهما من النوع n والأخرى من النوع p كما هو مبين في الشكل (3-18):



الشكل(3-18) بنية الخلية الشمسية

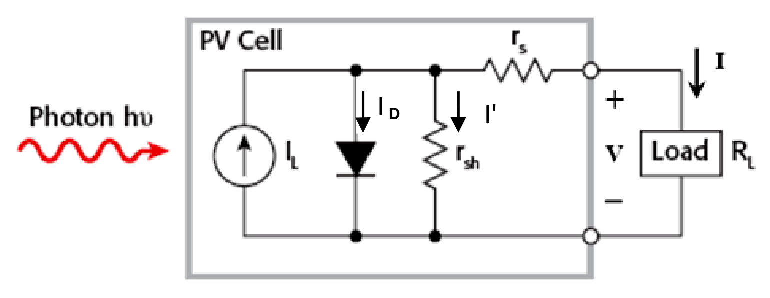
حيث تتضمن الخلية الشمسية ستة أجزاء رئيسية:

1. طبقة سليكون من نوع n : (n -type)
2. المتصل p-n: وهي محل اتصال وصلة n ووصلةp و التي تشكلان وصلة التجميع (p - n) .
3. طبقة سليكون من نوع p : (p -type) .
4. التماسات المعدنية السفلية ..
5. التماسات المعدنية العليا : تعمل كأحد أقطاب الخلية
6. غطاء أمامي مانع للانعكاس : ويصنع غالبًا من الزجاج مانع لانعكاس الضوء بعد مروره و الذي يحمي الخلية من العوامل الجوية.

7-3 الدارة المكافئة للخلية الشمسية:

The Equivalent Circuit for a Photovoltaic Cell

تُمثل الدارة المكافئة للخلية الشمسية بمنبع تيار هو التيار المار في الخلية عند تعريضها للإشعاع الشمسي و متصل ثنائي تشكله طبقتي السيليكون n ، p وتمتلك مقاومة تسلسلية ذاتية وأخرى تفرعية مترابطة معها ويبين الشكل(3-19)الدارة المكافئة للخلية الشمسية[15].



الشكل(3-19) الدارة المكافئة للخلية الشمسية

التيار الكلي I لخرج الخلية الشمسية PV cell يعطى بالمعادلة التالية:

$$I = I_L - I_D - I' = I_L - I_o\left(\exp\frac{eV}{KT} - 1\right) - I' \qquad (4\text{-}3)$$

حيث يعتبر I_o هو تيار التعتيم (تيار الإشباع العكسي للمتصل $p-n$) و V جهد خرج الخلية المقاسة و $k = 1.38\times10^{-23} J.K^{-1}$ ثابت بولتزمان و $e = 1.6\times10^{-19} C$ شحنة الإلكترون و T درجة حرارة الخلية وتقدر بالـــ K.

وعلاقة جهد الدارة المفتوحة V_{OC} عندما I=0 ، تصبح على الشكل التالي:

$$V_{OC} = \frac{KT}{e}\ln\left(\frac{I_L - I'}{I_o} + 1\right) \qquad (5\text{-}3)$$

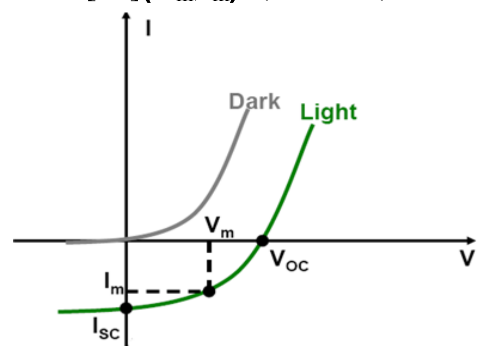
وعلاقة تيار الدارة المقصورة I_{SC} عندما يكون V=0 ، تصبح على الشكل التالي:

$$I_{SC} = I_L - I_o\left(\exp\frac{e.(I_{SC}.R_S)}{KT} - 1\right) - \frac{I_{SC}.R_S}{R_{Sh}} \qquad (6\text{-}3)$$

3-8 منحني الفولط – أمبير للوح الشمسي:

The I –V Curve for a Photovoltaic Panel

إن منحني الفولط – أمبير للوح الشمسي يقع في الربع الرابع كما في الشكل (3-20) ونحصل على استطاعة الخرج الأعظمية P_{max} عند القيمة الأفضلية (V_m,I_m)[16].



الشكل(3-20) منحني الفولط – أمبير للخلية الشمسية

3-9 المقادير المميزة للخلية الشمسية Solar Cell Parameters

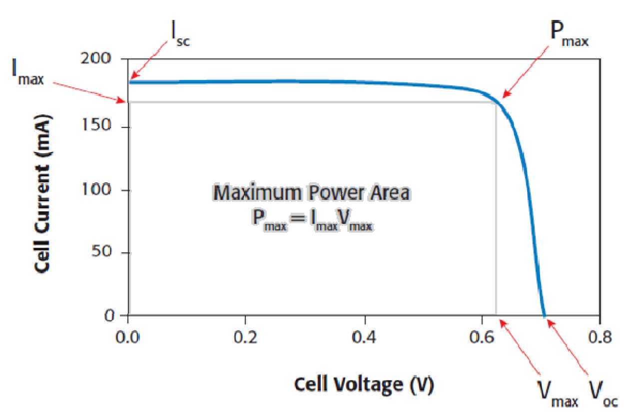
يبين الشكل (3-21) منحني الفولط – أمبير للخلية الشمسية، حيث يحتوي هذا المنحني على بعض المقادير المميزة للخلية الشمسية [17,16] مثل:

- **تيار الدارة المقصورة I_{sc}:**

$$I_{sc} = I\big|_{V_{cell}=0} \qquad (7\text{-}3)$$

- **جهد الدارة المفتوحة V_{oc}:**

$$V_{oc} = V\big|_{I_{cell}=0} \qquad (8\text{-}3)$$



الشكل(3-21) منحنى الفولط – أمبير للخلية الشمسية

- **الاستطاعة الأعظمية P_m:**

$$P_m = V_m . I_m \tag{9-3}$$

تتعلق نقطة الاستطاعة الأعظمية للخلية الشمسية حسب الشكل (3-22) بعدة أمور مثل: بنية الخلية الشمسية والمقادير المميزة للخلية الشمسية كجهد الدارة المفتوحة V_{oc} وتيار الدارة القصيرة I_{sc} وعامل الملء FF ودرجة حرارة الخلية، ويتم حساب الاستطاعة الأعظمية من العلاقة $\frac{dp}{dv} = 0$ ومنه نحصل:

- **التيار عند نقطة الاستطاعة الأعظمية I_m :**

$$I_m = I\big|_{P=P_m} \tag{10-3}$$

- **الجهد عند نقطة الاستطاعة الأعظمية V_m :**

$$V_m = V\big|_{P=P_m} \tag{11-3}$$

الشكل(3–22) منحنى الاستطاعة للخلية الشمسية

- **مردود الخلية الشمسية η:** وهي نسبة الاستطاعة الأعظمية للوح الشمسية P_m إلى الاستطاعة الضوئية الوارد على سطح الخلية الشمسية A:

$$\eta = \frac{P_m}{A.E} = \frac{V_m . I_m}{A.E} \tag{12-3}$$

حيث أن η: هو مردود الخلية الشمسية.

E: هو معدل الإشعاع الشمسي ويقدر بواحدة $Watt/m^2$.

إن مردود التحويل للخلايا الشمسية منخفض [18] ويعود لعدة أسباب:

1- عرض الحزمة الممنوعة E_g للمادة نصف الناقلة المصنوعة منها الخلية الشمسية.

2- استجابة الخلية لجزء محدود من فوتونات الطيف الشمسي.

3- الانعكاس والامتصاص الغير فعَّال.

4- ارتفاع درجة حرارة الخلية الشمسية.

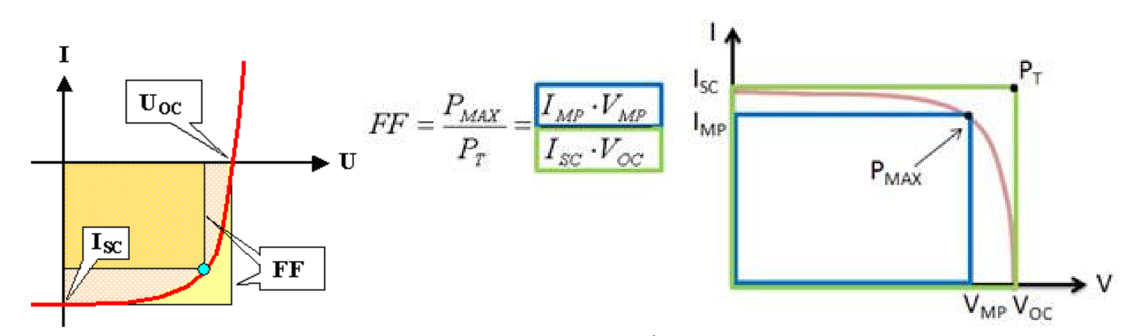
5- إعادة اتحاد الالكترونات والثقوب.

6- مقاومة التماسات والمقاومة الداخلية للوح.

- **عامل الملء للخلية الشمسية Fill Factor: FF**

ويمثل نسبة الاستطاعة الأعظمية للخلية الشمسية إلى الاستطاعة الناتجة عن جداء جهد الدارة المفتوحة بتيار الدارة القصيرة للخلية، الشكل (3−23)، وقيمة هذا المعامل أصغر من الواحد، ويعطى بالعلاقة:

$$FF = \frac{V_m.I_m}{V_{oc}.I_{sc}} = \frac{\eta.A.E}{V_{oc}.I_{sc}} \qquad (13\text{-}3)$$



الشكل(3-23) كيفية حساب عامل الملء للخلية الشمسية

- **المقاومة التسلسلية R_s:**

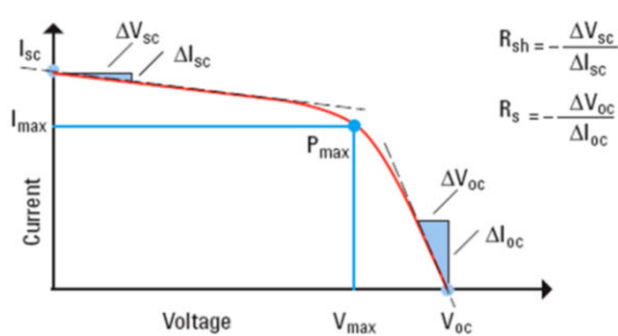
كما هي مبينة بالشكل (3−24) وتمثل مجموعة المقاومات والتي هي المقاومة الذاتية للمادة نصف الناقلة المصنوعة منه الخلية ومقاومة الوصلات المعدنية و التوصيلات الكهربائية، وكذلك الوصل بين المعدن والمادة نصف الناقلة

$$R_s = -\frac{\Delta V_{oc}}{\Delta I_{oc}} \qquad (14\text{-}3)$$

- **المقاومة التفرعية R_{sh}:**

كما هي مبينة بالشكل (3−24) وهي تحدث نتيجة تسرب التيار خلال المتصل الثنائي p-n حول حافة الخلية وكذلك مناطق داخلية أخرى بسبب العيوب البلورية أو وجود شوائب غير مرغوبة في منطقة المتصل [16].

$$R_{sh} = -\frac{\Delta V_{sc}}{\Delta I_{sc}} \qquad (15\text{-}3)$$



الشكل(3-24) حساب المقاومة التسلسليّة والتفرعيّة للخلية الشمسيّة اعتماداً على المنحني I-V

3-10 المواد المستخدمة في تصنيع الخلايا الشمسية:

The MATERIALS Using for fabricating Solar Cell

تصنع معظم الخلايا الشمسية من السيليكون Si فهي إما أن تكون سميكة البلورة (تصنع كشرائح sliced من المادة الأولية boules أو كسبائك casting) مثل c-Si،GaAs، أو رقيقة البلورة مصنعة بطريقة الأفلام الرقيقة Thin films (مترسبة أو متراكمة deposited كطبقات رقيقة أو على طبقة الأساس substrate) مثل a-Si و CdTe وغيرهم، وتترافق بعمليات ذات أهمية كبيرة كإزالة الشوائب والعيوب من السيليكون المصنع وترسيب طبقة الحماية Passivation (معالجة سطح الخلية بالهيدروجين) وعملية التخلص من الشوائب والعيوب Guttering (معالجة كيميائية حرارية تسبب إخراج الشوائب من السيليكون) وهناك الخلايا متعددة المتصل Multi-junction Solar Cell ذات المردود المرتفع، وهناك أيضاً خلايا شمسية تصنع من المواد العضوية أو البلاستيكية[19].

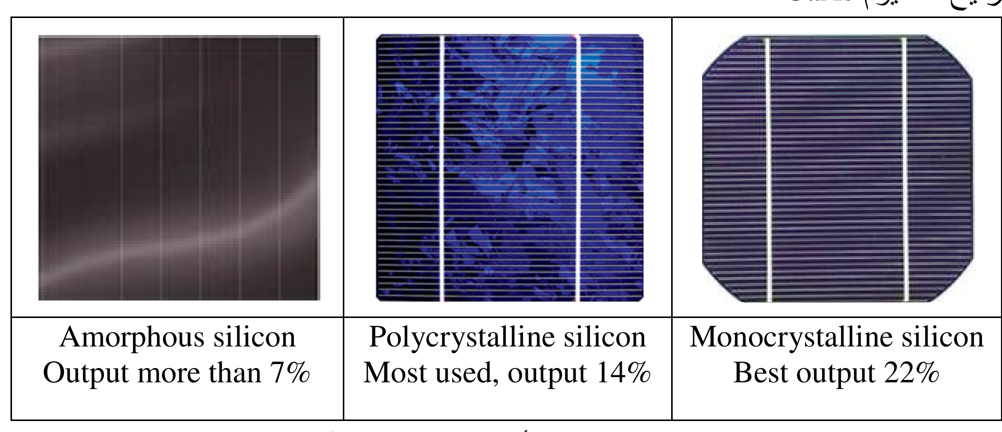
ونين فيما يلي أنواع الخلايا الشمسية:

3-10-1 مواد سميكة البلورة:Thick crystalline materials

منها :سيليكون وحيدة البلورة Crystalline Silicon

سيليكون متعدد البلورة Multicrystalline Silicon

زرنيخ الغاليوم GaAs



Amorphous silicon Output more than 7%	Polycrystalline silicon Most used, output 14%	Monocrystalline silicon Best output 22%

الشكل(3-25)بعض أنواع الخلايا الشمسية

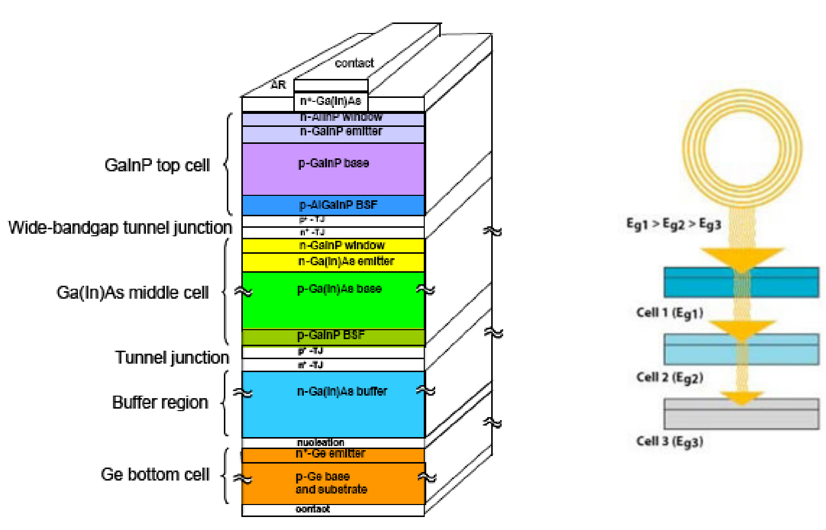
3-10-2 مواد الأفلام الرقيقة: Thin films materials

منها :سيليكون غير متبلور Amorphous silicon(a-Si)

كادميوم تيلورايد(CdTe)

3-10-3 الخلايا متعدة المتصل: Multi-junction Solar Cell

في هذا النوع من الخلايا يتم وضع أكثر من خلية شمسية بعضها فوق بعض وذلك من أجل رفع مردود التحويل حيث تقوم الخلية المواجهة للأشعة الشمسية بالتقاط معظم طاقة الإشعاع الشمسي وتمرر الجزء الباقي من طاقة الإشعاع إلى الخلايا الأدنى ولذلك يستفاد كامل طاقة الإشعاع الشمسي من دون هدر،وصنع خلايا ثنائية المتصل من خلال هذه التقنية من مواد مثل:GaAs وخلائطها (a-Si) Amorphous silicon،Copper Indium Deselenid (CID)، Galluim Indium Phosphor (GaInP) وهناك خلايا ثلاثية المتصل الشكل(3-26)، ورباعية المتصلات باستخدام مواد مثل الجرمانيوم.



الشكل(3-26) خلية شمسية متعددة المتصلات

3-10-4 الخلايا الشمسية غير التقليدية: Modern solar cell

يقصد بالخلايا الشمسية غير التقليدية الخلايا الشمسية المصنوعة من مواد عضوية مثل الخلايا الشمسية الصباغية Dy-sensitized solar cell، أومواد بلاستيكية مثل البوليمر Polymer solar.

- **الخلايا الشمسية الصباغية: Dy-sensitized solar cell**

وتعتمد على طريقة طبع الشاشة Screen Printing من أجل تشكيل طبقة من أكسيد التيتانيوم على مادة أساس من نوع عضوي معدني صباغي Metlorganic Dye Ruthenium والتي تستخدم كطبقة وحيدة ماصة للضوء والتي تولد أزواجاً مكونة من إلكترون –ثقب ولأن المواد المستخدمة فيها غير مكلفة نسبياً وهي سهلة التصنيع فقد حظيت باهتمام واسع في السنوات الأخيرة، ولكن المواد

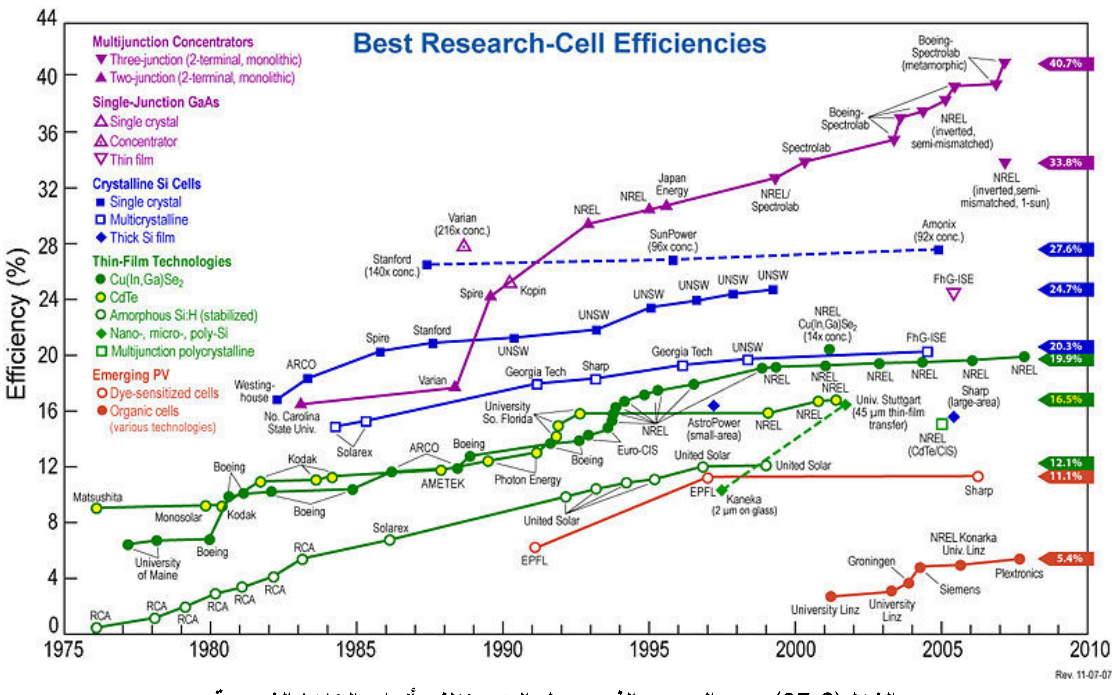
العضوية المصنوعة منها هذه الخلايا ليست جيدة في نقل الحاملات لذا فإن مردود تحويلها يبقى محدوداً.

- **الخلايا الشمسية المصنوعة من مواد بوليميرية: polymer solar cell**

يعتمد هذا النوع على استخدام مواد عضوية مثل البوليمر polymer أو البلاستيك ولكن مردود هذه الخلية منخفض [20].

تتعرض الخلايا الشمسية المصنعة من المواد العضوية و البلاستيكية للتقادم في الظلام ونتيجة تسليط الضوء عليها بعكس الخلايا المصنوعة من مواد نصف ناقلة كالسيليكون لذلك قام الباحثون بتحسين أداء خلايا المواد العضوية من خلال دمج بينها وبين خلايا أنصاف النواقل : CdSe, ZnO, TiO2 CdS Cd, ومن خلال تحسين طرق تغليفها واستخدام مرشحات للأشعة فوق البنفسجية .

وعلى الرغم مما سبق يبقى السيليكون المادة الأساسية المستخدمة في تصنيع الخلايا الشمسية لأدائه الجيد وموثقيته ومقاومته للتقادم ومردوده الجيد، والشكل(3-27) يبين المردود الذي وصل إليه مختلف أنواع الخلايا الشمسية[21].



الشكل(3-27) يبين المردود الذي وصل إليه مختلف أنواع الخلايا الشمسية

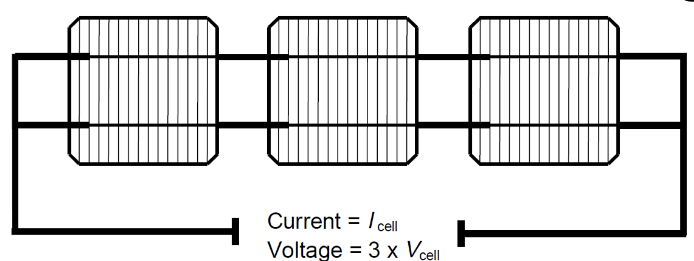
11-3 توصيل الخلايا الشمسية : Connection of solar cells

عند ربط الخلايا يجب الانتباه جيدًا إلى الخصائص الكهربائية للخلايا فمن الضروري أن يكون لكافة الخلايا المربوطة على التفرع نفس قيمة جهد الدارة المفتوحة ونفس قيمة جهد نقطة الاستطاعة العظمى، وأن يكون لكافة الخلايا التي تربط على التسلسل نفس قيمة تيار الدارة المقصورة ونفس قيمة تيار نقطة الاستطاعة العظمى[13].

1-11-3 التوصيل على التسلسل: Series connection

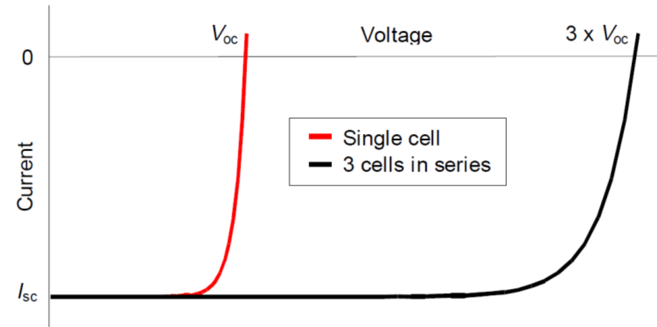
في هذه الطريقة يتم توصيل الطرف الموجب لكل خلية شمسية مع الطرف السالب للخلية التي تليها وهكذا دواليك فنحصل في النهاية من الموديول الشمسي أو الوحدة الشمسية على طرفين أحدهما موجب والأخر سالب لتشغيل الجهاز الكهربائي المطلوب.

الشكل(3-29) يوضح أسلوب توصيل الخلايا الكهروشمسية على التسلسل بالأسلوب الذي تحدثنا عنه سابقا.



الشكل(3-29) توصيل الخلايا الشمسية على التسلسل

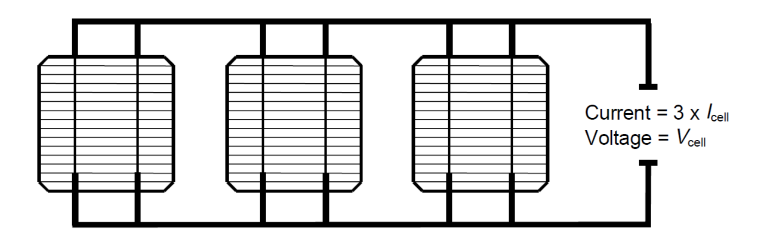
يستخدم هذا التوصيل عند الحاجة إلى جهد كبير بصرف النظر عن شدة التيار المار، يبين الشكل (3-30) مميزة الفولت – أمبير لخلية شمسية ولثلاث خلايا مربوطة على التسلسل.



الشكل(3-30) مميزة الفولت – أمبير لخلية شمسية ولثلاث خلايا مربوطة على التسلسل

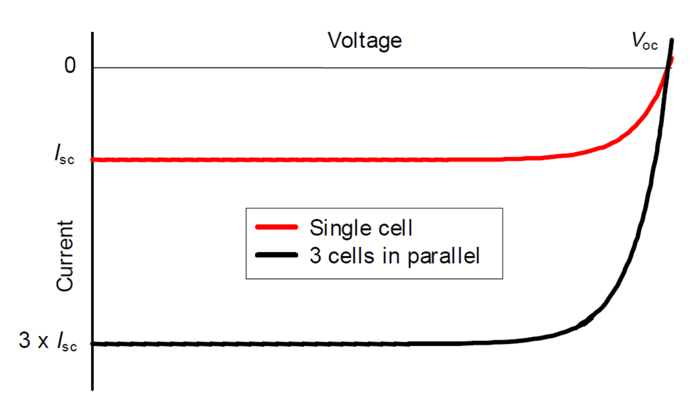
2-11-3 التوصيل على التفرع: Parallel connection

في هذه الطريقة يتم توصيل جميع الأطراف الموجبة لجميع الخلايا الشمسية معا وكذلك توصيل جميع الأطراف السالبة لهذه الخلايا معا لنحصل في خرج المجموعة الشمسية على طرفين أحدهما موجب والأخر سالب لتشغيل الجهاز الكهربائي، وبالتالي يستخدم توصيل الخلايا الشمسية على التفرع عند الحاجة إلى تيار كهربائي كبير بصرف النظر عن توتر الخرج، كما هومبين في الشكل(3-31).



الشكل(3-31) توصيل الخلايا الشمسية على التفرع

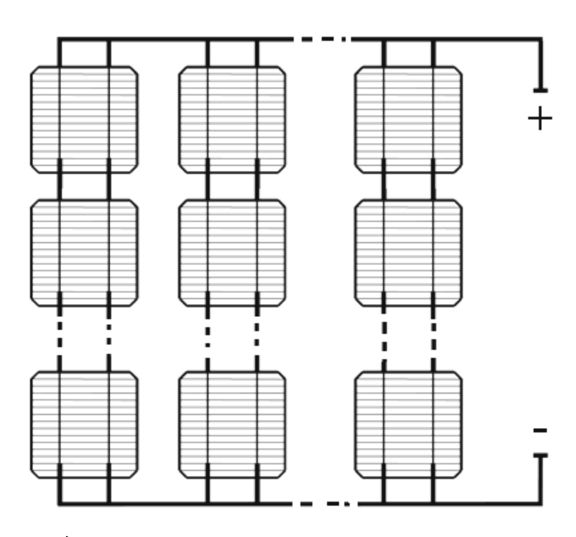
يبين الشكل (3-32) مميزة الفولت – أمبير لخلية شمسية ، ولثلاث خلايا مربوطة على التفرع.



الشكل (3-32) مميزة الفولت – أمبير لخلية شمسية ، ولثلاث خلايا مربوطة على التفرع

3-11-3 التوصيل المختلط: Combined connection

وفي هذه الطريقة يتم توصيل الخلايا الشمسية على التسلسل ثم توصيل التشكيلات الناتجة على التفرع وبالنهاية نحصل على طرفين للوحدة الشمسية أحدهما موجب والآخر سالب لتشغيل الجهاز الكهربائي، كما هو مبين في الشكل (3-33).

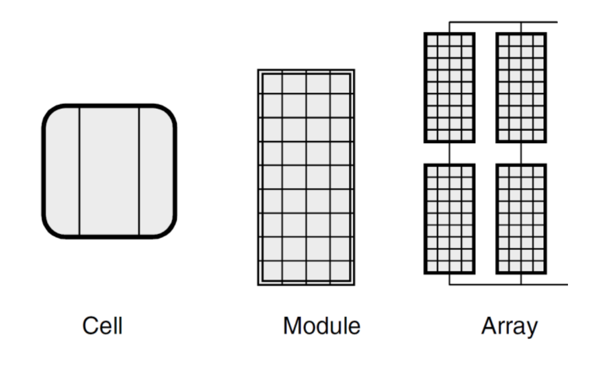


الشكل (3-33) التوصيل المختلط للخلايا الشمسية

12-3 المولدات الفوتوفلطائية: PV generators

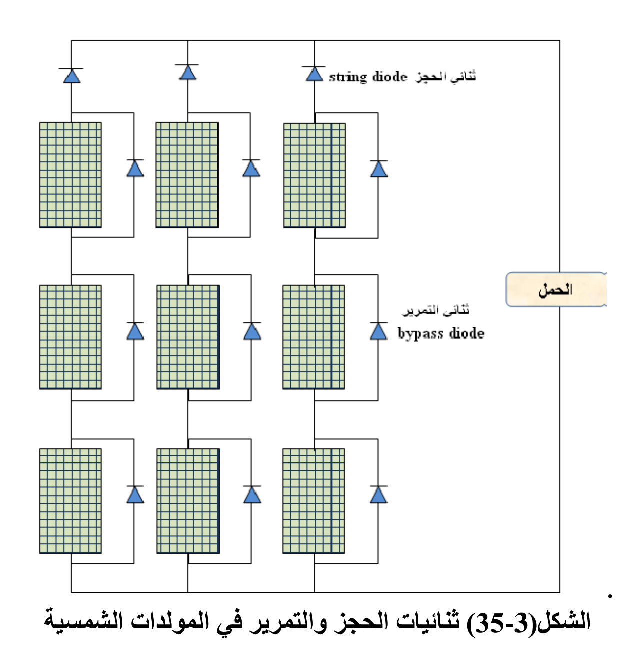
مولد الطاقة الفوتوفلطائية في واقع الأمر يتكون من عدد كبير من الوحدات الشمسية (Module) الموصولة مع بعضها البعض، وهذه الأخرى مكونة من عدد كبير من الخلايا الشمسية (Solar Cell) الموصولة مع بعضها البعض، كما هو مبين في الشكل (3-34).

فمن أجل الحصول على أنظمة عملية للطاقة الكهروشمسية لا بد من تجميع عدد معين من الخلايا بغية الحصول على قيم محددة للتوتر والتيار الكهربائي ويمكن من خلالها الحصول على الاستطاعة الكهربائية بما يناسب ومتطلبات الأحمال ضمن لوحة تدعى (Module) هذه اللوحة (Module) هي حجر الأساس لبناء وحدة كهربائية متكاملة مؤلفة من عدد من هذه اللوحات تدعى المصفوفات (Array)[22].



الشكل (3-34) الخلايا الشمسية و الوحدات الشمسية والمصفوفات الشمسية

تستخدم ديودات وقاية Protection diode توصل على التوازي مع مجموعات الخلايا الكهروشمسية وعلى التوازي مع الوحدات كما هو مبين في الشكل (3-35).



الشكل(3-35) ثنائيات الحجز والتمرير في المولدات الشمسية

3-13 تقنيات تصنيع الخلايا الشمسية: Solar cell fabricating technology

يستخدم لإنتاج الخلايا الشمسية مواد مختلفة من أنصاف النواقل، والمادة الأكثر استخداماً هي السيليكون حيث تمثل الخلايا الشمسية التي تعتمد على السيليكون البلوري أكثر أنواع الخلايا المنتجة في أنحاء العالم، ولذلك سنقتصر على عرض طرائق إنتاج الخلايا الشمسية من مادة السيلكون، حيث يعد السيليكون المادة الثانية من ناحية الوجود على القشرة الأرضية وذلك بعد الأوكسجين، والرمل هي المادة الأولية التي يصنع منها السيليكون[19].

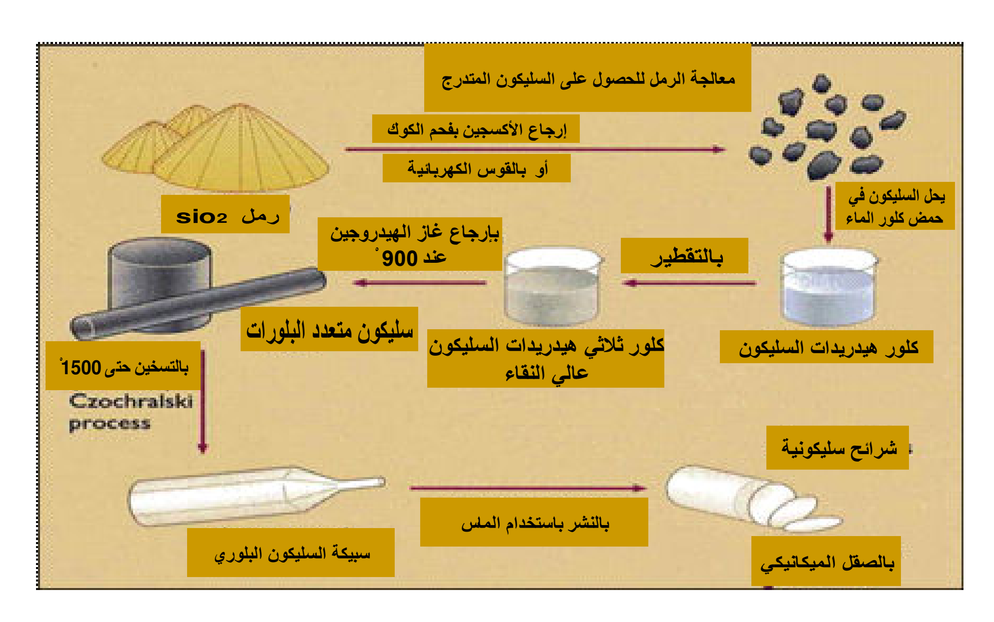


3-13-1 السيليكون:Silicon

يمكن الحصول على السيليكون من الرمل الكوارتزي بعد سلسلة من عمليات الصهر والتنظيف

3-13-2 الرقائق السيليكونية:Silicon Wafers

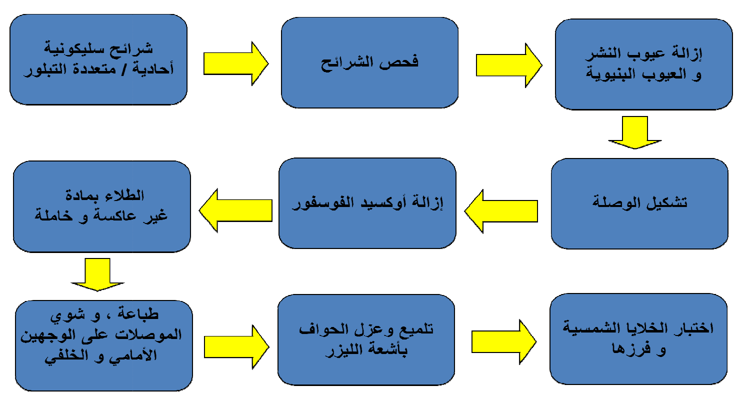
يصب السيلكون السائل على شكل كتل، تقطع الكتل إلى سبائك، ثم تقطع إلى ما يسمى الرقائق السيليكونية. كما هو مبين في الشكل (3-36)



الشكل(3-36) خطوات إنتاج خلية سيليكونية أحادية البلورية

3-13-3 الخلايا الشمسية: Solar Cells

وهي العنصر الرئيسي اللازم لتصنيع اللاقط الكهروضوئي حيث تنظف الرقائق بوساطة مواد حمضية وقلوية و بدائل كهروفيزيائية، و تطلى بطبقة من مادة غير عاكسة للضوء، و يتم ربطها بموصلات كهربائية. الشكل(3-37) .



الشكل(3-37) خطوات الحصول على الخلايا الشمسية

3-13-4 اللواقط الشمسية: Solar Panels

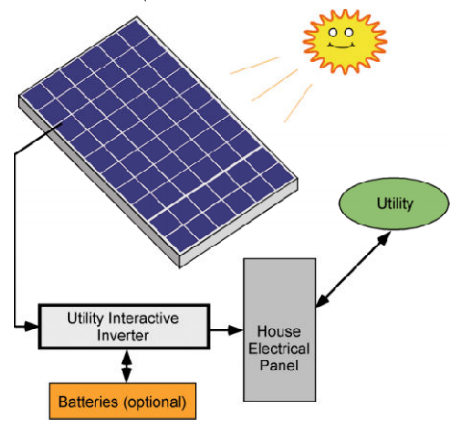
تتكون من عدد من الخلايا الشمسية الموصلة مع بعضها البعض، و توضع بين طبقتين من الزجاج أو البلاستيك لحمايتها من العوامل الجوية، ثم توضع ضمن إطار من الألمنيوم بعد تركيب علبة الوصل على السطح الخلفي، والشكل (3-38) يبين أشكال مختلفة للألواح الشمسية .



الشكل (3-38) يبين أشكال مختلفة للألواح الشمسية

3-13-5 النظام الفوتوفلطائي : PHOTOVOLTAIC SYSTEM

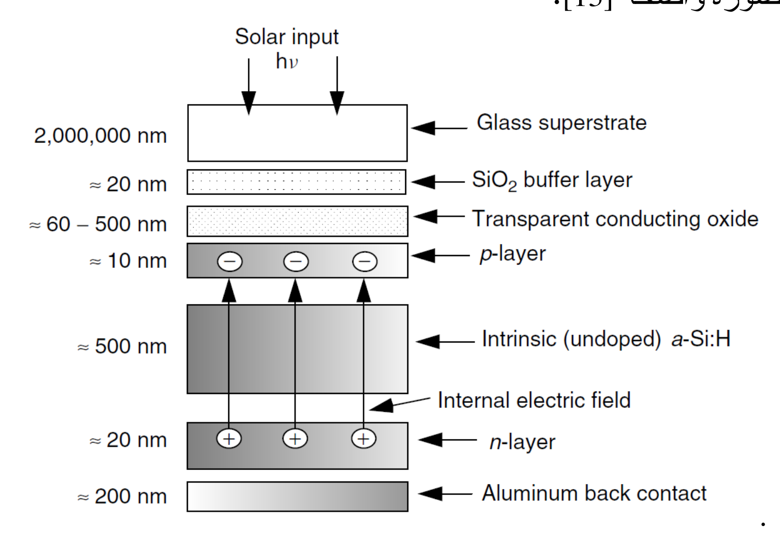
هو نظام يقوم بتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية، الشكل(3-39)، ويقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية، النظم الكهروشمسية المستقلة، والنظم الكهروشمسية الهجينة، والنظم الكهروشمسية المرتبطة بالشبكة الكهربائية.



الشكل (3-39) يبين نظام كهروشمسي بسيط

14-3 الخلايا السيليكونية غير المتبلورة:Amorphous Silicon Cells

يمكن تصنيع الخلايا الشمسية بطريقة أرخص من طرائق تصنيع الخلايا البلورية الأحادية والمتعددة، وهذه الخلايا تدعى خلايا السيليكون غير المتبلور(a-Si) وتكون ذرات السيليكون فيها أقل ترتيبًا من النوع البلوري، ففي السيليكون غير المتبلور لا ترتبط كل ذرة ارتباطًا كاملاً مع الذرات المجاورة وإنما تترك ما يسمى بالحزم المتدلية (Dangling Bands) وتستطيع امتصاص إلكترونات إضافية عند إجراء عملية الطلاء، وعملية التصنيع تتم بوساطة خليط من غاز يحتوي على السيليكون والهيدروجين (SiH4) وكمية قليلة من الشوائب مثل البورون التي تتحلل كهربائيًا بطريقة يمكن أن تكون طبقة رقيقة من السيليكون العشوائي على قاعدة من مادة مناسبة كالفولاذ المرن (Elastic Stainless Steel) إن الهيدروجين في هذا الغاز يقوم بتوفير إلكترونات إضافية تتحد مع حزم السيليكون المتدلية (Dangling Silicon Bands) لتكوين طبقة من السيليكون والهيدروجين والشوائب الموجودة في الغاز لها تأثيرها الاعتيادي بتوزيع حاملات الشحنة لتحسين ناقلية المادة وتختلف خلايا السيليكون غير المتبلور عن الخلايا المصنعة بطرائق أخرى بالنسبة لمنطقة الاتصال(P-N Junction) حيث تتكون في هذا النوع من الخلايا منطقة تسمى (P-I-N) وهي طبقة رقيقة جدًا من نوع (P) من السيليكون غير المتبلور تأتي بعدها طبقة داخلية (I) أكثر سمكاً من مادة السيليكون غير المتبلور الخالي من الشوائب، ثم طبقة رقيقة جدًا نوع (N) من السيليكون غير المتبلور، والشكل(3-40) يوضح هيكلية هذه الخلية، والتأثير الكهروضوئي على الخلية السيليكونية غير المتبلورة مشابه لما في الخلايا السيليكونية البلورية باستثناء أن سمك الحزمة الممنوعة (Band Gap) أكبر لكنه غير محدد بصورة واضحة [13].



الشكل(3-40)هيكلية خلية سيليكونية غير متبلورة

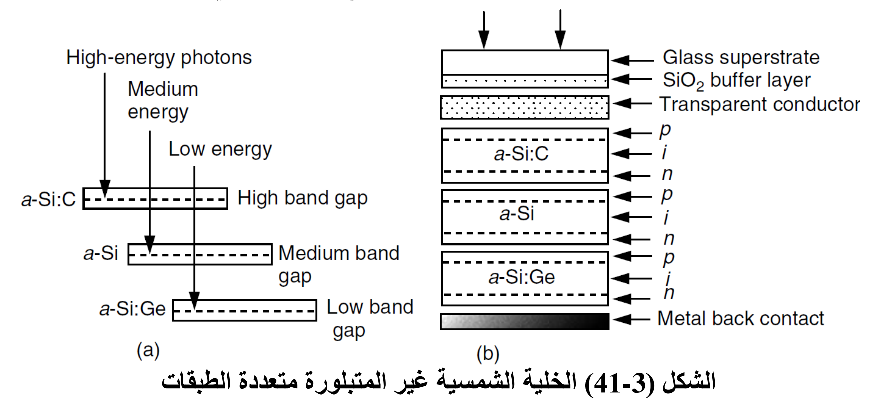
وللخلية السيليكونية غير المتبلورة إيجابيات وسلبيات، ومن إيجابياتها أنها أقل سمكاً وأرخص سعراً من الخلايا السيليكونية البلورية، وهي أيضاً أكثر امتصاصاً للإشعاع الشمسي، كما أن عمليات تصنيعها تجري تحت ظروف درجة حرارة منخفضة مقارنة بالخلايا السيليكونية البلورية، ولهذا فهي تحتاج إلى طاقة أقل،

وهي ملائمة جدًا للإنتاج المستمر ويمكن طلاؤها على مواد مختلفة صلدة ومرنة كالحديد والزجاج والبلاستيك، ومن سلبيات الخلايا السيليكونية غير المتبلورة قلة كفاءتها مقارنة بالخلايا السيليكونية البلورية الأحادية والمتعددة. إن أعلى كفاءة تم الحصول عليها في المختبر من هذا النوع من الخلايا الكهروضوئية لا تتجاوز 12%، وإن كفاءتها تتناقص مع مدة تعرضها للشمس من 8% إلى ما يقارب 4% بعد عدة أشهر من الاستخدام أي أن عمرها الزمني قليل، كما أن مخلفاتها التي تحول إلى الأرسانيد (الزرنيج) ضارة بالبيئة .وتجري محاولات كثيرة جادة لتحسين كفاءتها وحل مشكلة نقصان كفاءتها مع الاستخدام.

إن إحدى الطرائق المستخدمة لتحسين كفاءة التحويل هي وضع طبقتين من الأغشية الرقيقة واحدة فوق الأخرى؛ بحيث إن كلا من هاتين الطبقتين تمتص جزءًا من الطول الموجي للإشعاع الساقط، و الحزمة الممنوعة يمكن توسيعها بوساطة استخدام طبقة من الكربون تجعل المادة أكثر امتصاصًا للضوء على النهاية الزرقاء للحزمة الضوئية، وبالطلاء بمادة الجرمانيوم Germanium فإن عرض الحزمة الممنوعة يقل مما يجعل المادة أكثر استجابةً للضوء على النهاية الحمراء من الحزمة . لذا فإن الحزمة الممنوعة يكون عريضًا في منطقة الجزء العلوي للسيلكون غير المتبلور، فيمتص فوتونات الضوء ذات الطاقة العالية في النهاية الزرقاء من الحزمة الضوئية التي يتبعها غشاء رقيق آخر من السيليكون غير المتبلور، وكل من هذين الغشائين مصمم لامتصاص جزء من الموجات الضوئية القصيرة القريبة من النهاية الحمراء للحزمة الضوئية. كما هو مبين بالشكل(3-41) وبالإضافة إلى زيادة كفاءة الخلية من هذه الطريقة فإن وضع طبقات متعددة له فائدة أخرى وهي تقليل النقصان في الكفاءات التي تحدث في الخلية السيليكونية غير المتبلورة ذات الحزمة الممنوعة الواحدة، وبالرغم من الكفاءة الحالية المتدنية للخلايا السيليكونية غير المتبلورة فإنها تستخدم بصفة واسعة تجاريًا وذلك لرخص أسعارها، وقد بلغت نسبة استخدامها في عام1990 حوالي 30% من مجموع الخلايا المستخدمة في التطبيقات المختلفة.

والخلية السيليكونية غير المتبلورة ليست الوحيدة المناسبة بل هنالك بعض الخلايا المصنعة من تقنيات الأفلام الرقيقة Thin Films المتكونة من عدة أنصاف نواقل من بينها كوبر انديم ديسلنايد (CuIn Se2 or CIS) وكادميوم تيلرايد (CdTe).

وقد وصلت الخلايا المصنعة من هذه التقنيات إلى مرحلة الإنتاج التجاري في الوقت الحاضر.



الشكل (3-41) الخلية الشمسية غير المتبلورة متعددة الطبقات

وكنتيجة عامة لما سبق ذكره أو كخلاصة نجد ما يلي:

السيلكون غير المتبلور يتميز بأنه:

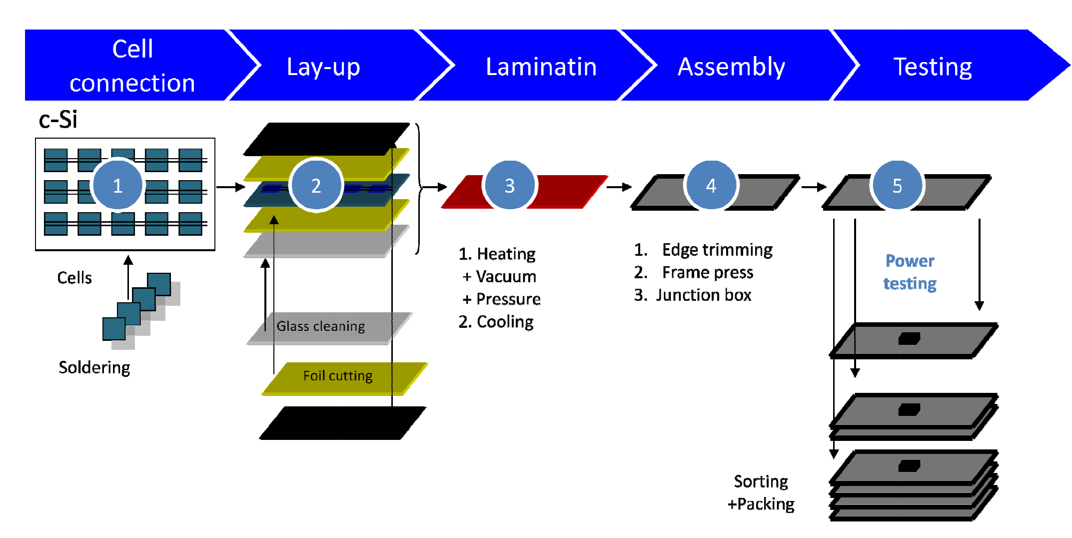
- سهل التحضير في مساحات كبيرة.
- طبقة رقيقة جدا (أقل من 1 ميكرومتر) كافية.
- سهل التصنيع على شكل ألواح على مستوى البنية والتوصيل.
- خلية بوصلة واحدة نحصل على قيمة مردود حتى% 10 .
- قيمة مردود الخلية الشمسية تنقص تحت الإشعاع الشمسي.
- يمكن تصنيعها على شكل طبقات.
- لا يتم الحصول على أنتاج رخيص كما هو مرغوب.

15-3 مراحل تجميع اللاقط الكهروضوئي: Production Process

هو مجموعة من الخلايا الشمسية الموصولة مع بعضها على التسلسل أو على التفرع، والمغلفة بصفائح تحميها من العوامل البيئية[23].

يتوقف مردود اللاقط الكهروضوئي بشكل رئيسي على مردود الخلايا المستعملة، و تلعب المواد المستخدمة الأخرى وطريقة التجميع دوراً في ذلك.

سنستعرض مراحل تجميع اللواقط الكهروضوئية والشكل (3-44) يبين هذه المراحل.



الشكل (3-44) يبين مراحل تجميع اللواقط الكهروضوئية

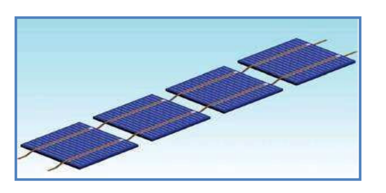
1-15-3 المواد الأولية اللازمة لتجميع اللواقط الكهروضوئية:

- خلايا كهروضوئية
- شرائط نحاسية

- طبقة من البلاستيك الحراري مثل: مادة (EVA) Ethyl Vinyl Acetate (عبارة عن طبقة تغلف الألواح الشمسية من الوجهين العلوي و السفلي، تعطي ترابط ثابت للألواح الشمسية بعد إخضاعها لعملية التصفيح).
- زجاج مقسى glass
- غطاء خلفي لاصق tedlar (عبارة عن طبقة لاصقة تغلف الوجه السفلي للألواح الشمسية ، لعزلها عن المحيط الخارجي، بعد إخضاعها لعملية التصفيح).
- سيليكون
- زوايا ألمنيوم
- قضبان ألمنيوم
- علبة وصل

3-15-2 مرحلة توصيل الخلايا الشمسية:Cell connection

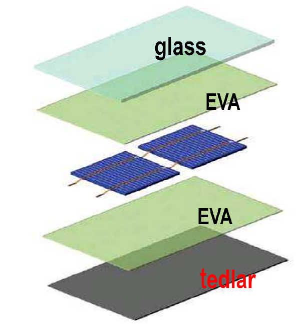
ويتم فيها توصيل الخلايا الشمسية على التسلسل والتفرع بشرائط نحاسية ثم تلحيمها للحصول على الجهد والتيار المطلوبين ليتكون ما يسمى(strings) ، الشكل(3-42).



الشكل(3-42) تشكيلة الـ String

3-15-3 مرحلة تحضير الألواح الشمسية:Lay-up

- في هذه المرحلة يتم وضع طبقة من الــ tedlar تليها رقاقة من الــ EVA على الوجه السفلي لــ strings
- كما يتم وضع رقاقة من الــ EVA تليها طبقة زجاج على الوجه العلوي لــ strings كما في الشكل(3-43).



الشكل(3-43) يبين مرحلة توضع الطبقات

3-15-4 مرحلة التصفيح الحراري:Lamination

يتم إدخال الـــلوح الشمسي إلى جهاز الـــ Laminator الذي يقوم بتصفيح الألواح الشمسية أوتوماتيكيا"، ويمكن استخدامه لألواح بقياسات مختلفة.

تتكون عملية التصفيح الحراري من الخطوات التالية:

1- تحميل اللاقط

2- تحديد زمن التفريغ

3- تسخين الجهاز حتى درجة حرارة المعالجة

4- تحديد زمن المعالجة

5- التبريد

3-15-5 مرحلة تجميع الإطار:Assembly

وتتضمن تَشْذيب الحواف وذلك للتخلص من زوائد رقاقات الـــ EVA المنصهرة والموجودة على حواف اللوح الشمسي والتي نتجت عن عملية التصفيح ،ثم تركيب الإطار حول اللوح الشمسي، وأخيراً تثبيت علبة التوصيل على الوجه الخلفي للوح الشمسي.

3-15-6 مرحلة الاختبار:Testing

يتم اختبار الجهد العالي وذلك باختبار العازلية الكهربائية للاقط الكهروضوئي حتى/ 10KV / ومن ثم اختبار الخصائص الالكترونية للاقط الكهروضوئي على خط الإنتاج،**وفي** النهاية يتم وضع تقرير الاختبار النهائي للاقط الكهروضوئي على الوجه الخلفي للوح الشمسي.

3-16 تأثير العوامل المختلفة على أداء الخلية الشمسية:

Impact of various factors on the performance of solar cell

3-16-1 تأثير شدة الإشعاع الشمسي على منحنيات الجهد و التيار:

The impact of the intensity of solar radiation on the voltage and current curves

إنّ الإشعاعَ الشمسي المتوفر يُوْصَف بشكل متكرر بإعطاء قيمة كتلة الهواء Air mass (AM)، مثلاً: (AM0)،(AM1)،(AM1.5)،...... الخ.

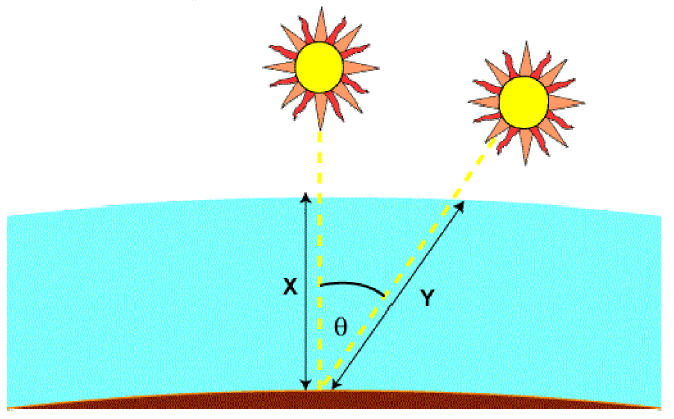
AM0 يشير إلى الإشعاع الشمسي متوفر خارج الغلاف الجوي للأرض، قيمة الإشعاع الشمسي الكلي المطابق هو $1353 W/m^2$ ويدعى بالثابت الشمسي.

AM1 يشير إلى الإشعاع الشمسي المتوفر على سطح الأرض عندما يكون الشمس في الذروة (قيمة الإشعاع الشمسي الكلي يساوي تقريباً $925\ W/m^2$).

بشكل عام عندما $x > 1$، فإن AMx يعرّف بالإشعاع الشمسي المتوفر على سطح الأرض عندما تكون الشمس في الزاويةθ من الذروة، الشكل(3-45) و قيمة كتلة الهواء تعطى:

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)} \qquad (16\text{-}3)$$

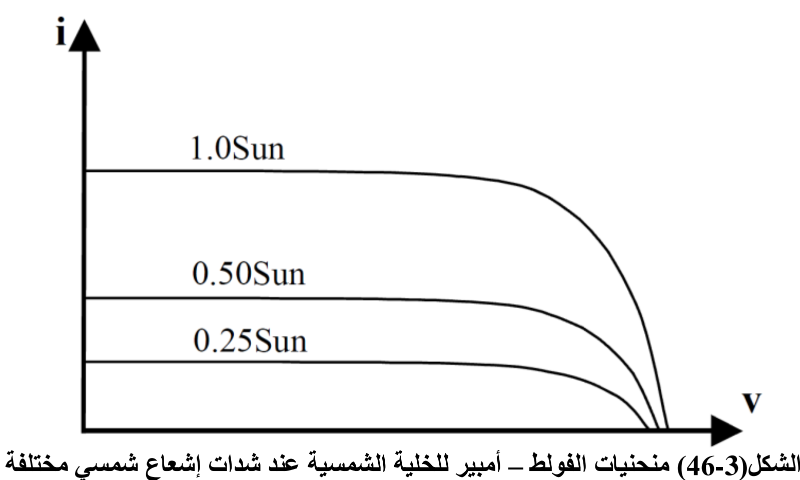
من الواضح بأن قيمة AM تتعلق بعدة عوامل : بموقع المكان من الكرة الأرضية (خط العرض)، الفصل السنوي (انحراف الشمس)، والوقت خلال اليوم. أما القيمة الفعّالة لـ x فأنها تَعتمد على ارتفاع المكان عن سطح البحر ، حالة الطقس (بوجود غيوم) ، ونوعية الهواء في الجو (أبخرة مائية وغبار).



الشكل(3-45) يبين الشمس في الزاوية θ من الذروة

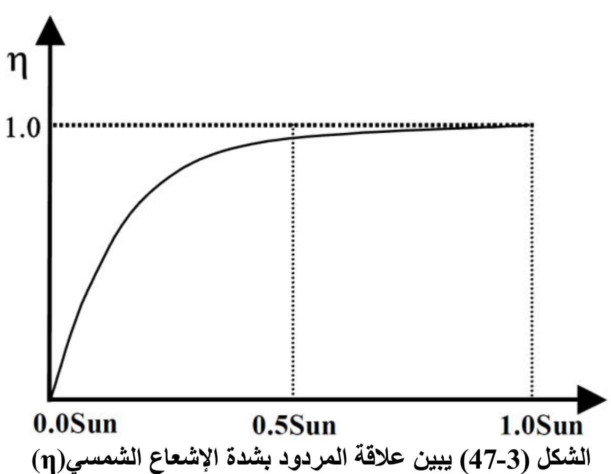
يمكن أن تصل كثافة طاقة الإشعاع الشمسي في الأيام الصافية إلى كيلو واط واحد على المتر المربع ($1kw/m^2$) والذي سوف نسميه بـــ (1 sun) ، ففي شهر حزيران يكون القطب الشمالي للأرض أقرب للشمس ، وبهذا يصل الإشعاع الشمسي إلى الجزء الشمالي من الكرة الأرضية بصورة عمودية، أما في شهر كانون الأول فإن القطب الشمالي ينحرف بعيداً عن الشمس، وتسقط الأشعة الشمسية بصورة منحرفة باعثة أقل كثافة من الطاقة[15].

معظم الخلايا الشمسية تزود بمنحنيات عند 1.0Sun و0.5Sun ، بافتراض أن شدة الإشعاع الشمسي الساقط هي عند$1000\ W/m^2$ و $500\ W/m^2$ ويمثلان أداء PV cell عند مواصفات شمس كاملة ويوم غائم على التوالي.



الشكل(3-46) منحنيات الفولط – أمبير للخلية الشمسية عند شدات إشعاع شمسي مختلفة

إن أداء الخلية الشمسية لا يتأثر بشكل ملحوظ بين ظروف الشمسِ الكاملةِ والظروف الجوية الغائمةِ. والملاحظ أن استطاعة الخرج تنقص تقريباً بشكل خطيّ بالنسبة إلى شدة الإشعاع الشمسي الساقط ، كما هو مبين في الشكل(3-46)، بينما يبقى مردود الخلية تقريباً بدون تغيير في الحالتين، كما هو مبين في الشكل(3-47) .



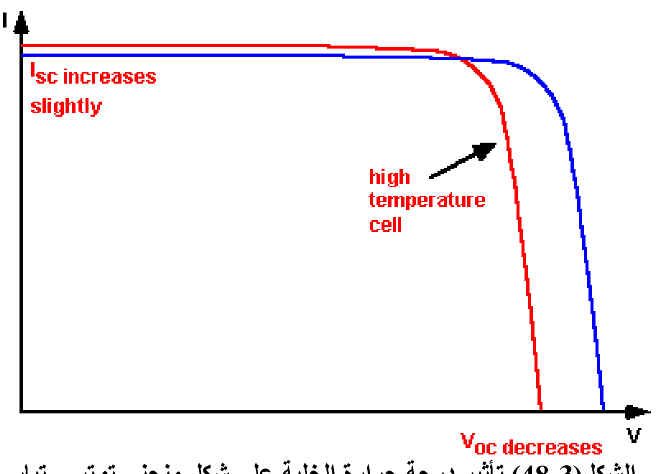
الشكل (3-47) يبين علاقة المردود بشدة الإشعاع الشمسي(η)

3-16-2 تأثير درجة الحرارة على منحنيات الجهد و التيار

The effect of temperature on th:e curves of voltage and current

إن درجة الحرارة من العوامل المؤثرة في أداء الخلية حيث أن زيادة الإشعاع يسبب ازدياد في درجة حرارة الخلية وهذا يؤدي لانخفاض المردود ثانية.

تتناسب درجة الحرارة عكسيًا مع توتر الخلية وطردًا مع التيار، لكن تأثيرها بالنسبة للتوتر أكثر، وهذا يعني أن الاستطاعة الناتجة من الخلية تنخفض بارتفاع درجة الحرارة ، يوضح الشكل (3-48) تأثير درجة حرارة الخلية على شكل منحني توتر – تيار للخلية[13].

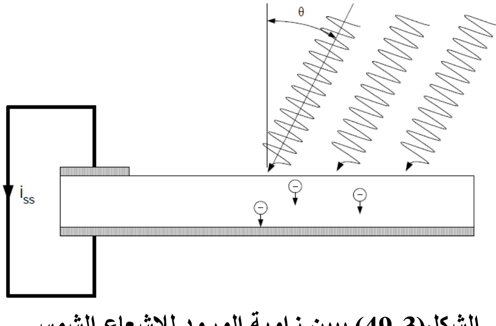


الشكل(3-48) تأثير درجة حرارة الخلية على شكل منحني توتر – تيار

3-16-3 تأثير زاوية الورود للإشعاع الشمسي:

Impact angle of incidence of solar radiation

زاوية الورود Incident Angle(θ) هي الزاوية المحصورة بين الإشعاع الشمسي المباشر الوارد على السطح والمستوى العمودي على السطح.الشكل(3-49) .



الشكل(3-49) يبين زاوية الورود للإشعاع الشمسي

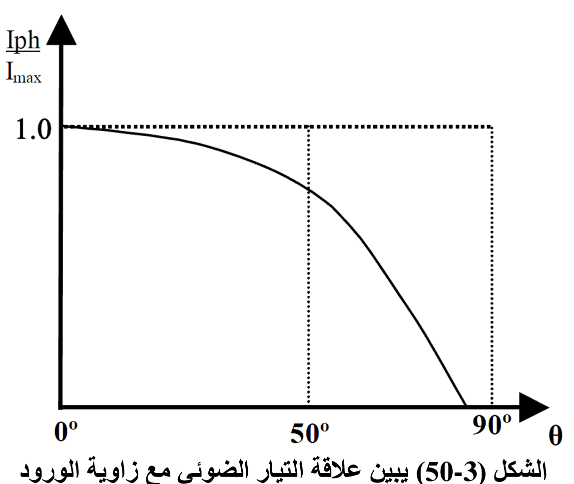
ان زاوية ورود الأشعة الشمسية لها دخل فى تقدير كمية الإشعاع الواصل الى سطح الأرض.حيث تبلغ كمية الإشعاع أقصاها عندما تسقط عموديا فوق الأرض، وكلما ازدادت زاوية سقوط الأشعة انخفضت نسبة الطاقة الواصلة للسطح[13].

إن خرج الخلية الشمسية الذي يتعلق بزاوية الورود الشمسي،تكون قيمها متقاربة بوساطة تابع التجيب (cosine function) من اجل قيم الزوايا الشمسية مابين 0° إلى 50°، وما بعد الزاوية 50° تتناقص قيمة الطاقة الشمسية بسرعة وتصبح معدومة عند الزاوية85°.

لتمثيل التغيرات بين التيار الضوئي photocurrent و زاوية الورود incident angle ضمن المجال العملي الطبيعي نستخدم المعادلة التالية:

$$I_{ph}=I_{max}\cdot \cos(\theta) \qquad (3\text{-}17)$$

والشكل (3-50) يوضح هذه العلاقة



الشكل (3-50) يبين علاقة التيار الضوئي مع زاوية الورود

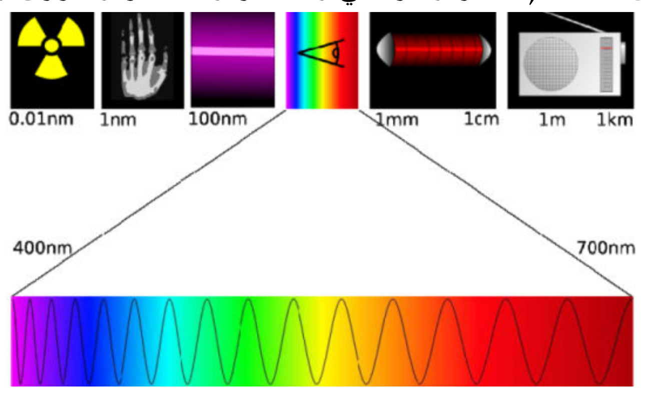
4-16-3 تأثير الأطوال الموجية المختلفة للإشعاع الشمسي:

The impact of the different wavelengths of solar radiation

يتميز الإشعاع الشمسي بموجات مختلفة الأطوال تسمى بالطيف الشمسي وهي تمتد من الموجات القصيرة إلى الموجات الطويلة وهى عبارة عن مركب من الموجات الكهرطيسية، وموجات الراديو، وأشعة ما تحت الحمراء والأشعة المرئية والأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية، والأشعة جاما بالإضافة إلى كمية قليلة من الجزيئات على شكل إلكترونات وايونات أخرى تنطلق في بعض الأحيان من الشمس، كما هو مبين في الشكل(3-51).

يقصد بطول الموجة المسافة الفاصلة بين قمتي أو قعري موجتين إشعاعيتين متتاليين وتستخدم الوحدات المترية وأجزائها في قياسها.

الضوء المرئي هو جزء من الطيف الشمسي، وكما نعلم ان الطيف الشمسي مكون من العديد من الأمواج الكهرومغناطيسية المختلفة في الأطوال الموجية، والضوء المرئي أيضاً مكون من أطوال موجية مختلفة وهي التي تعرف بألوان الطيف (الأحمر والبرتقالي والأصفر والأخضر والأزرق والبنفسجي).



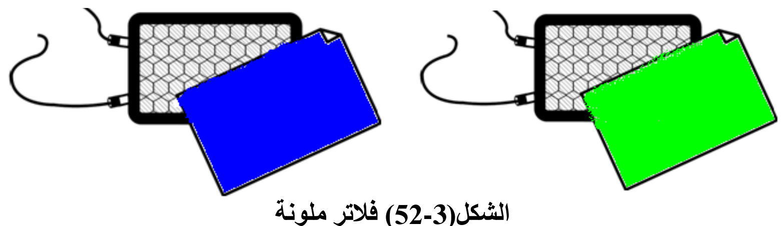
الشكل(3-51) طيف الإشعاع الشمسي

يمثل كل لون من الوان الطيف طول موجي محدد ولكل طول موجي طاقة محددة يحملها الفوتون، وهذا الفوتون عندما يسقط على خلية شمسية فإن بعض هذه الفوتونات لا تمتلك الطاقة الكافية لتحرير إلكترون وثقب في الخلية، حيث تنفذ هذه الفوتونات عبر الخلية ولا يتم امتصاصها. وعدد بسيط من فوتونات الضوء تمتلك الطاقة الكافية والتي تصل طاقتها1.1إلكترون فولت (1.1eV) وهي الطاقة اللازمة لتحرير الكترونات من ذرات مادة السليكون.

وفي مادة السيليكون تقدر قيمة طاقة الحزمة الممنوعة بـــ1.1 eV، لذلك لو كانت الطاقة الخارجية التي نزود بها الإلكترون اقل من هذه القيمة فإن الإلكترون لن يستفيد منها ولن يمتصها لكي ينتقل إلى مستوى طاقة أعلى، أما إذا كانت قيمة الطاقة الخارجية الساقطة على الإلكترون اكبر من 1.1 eV فإنها سوف تنقل الإلكترون من مستوى طاقة إلى مستوى طاقة أعلى وهذا ما نريده في الخلية الشمسية حيث أن الطاقة الخارجية هي طاقة الفوتونات الضوئية التي تختلف طبقاً لاختلاف الأطوال الموجية للضوء.

نعود الآن إلى الطاقة الشمسية التي تسقط على الخلية الشمسية وإذا علمنا أن هذه الطاقة التي يحملها الفوتونات ذات قيم مختلفة، فإن الفوتونات ذات الطاقة العالية فقط هي التي تستخدم لتوليد تيار كهربائي بينما باقي الفوتونات تنفذ دون أن تستفيد منها الخلية، وهذا ما يجعل معظم الخلايا الشمسية لا تستطيع امتصاص حوالي 55% من طاقة ضوء الشمس،لأن هذه الطاقة إما أقل من طاقة الحزمة الممنوعة للخلية أو تَحْملُ طاقةً فائضةً تبدد حرارياً.حيث أن طاقة الطيف الشمسي الكلي من الأشعة تحت الحمراء حتى الأشعة فوق البنفسجية تغطي المجال من 0.5 eV حتى 2.9 eV وكمثال فإن الضوء الأحمر يملك طاقة حوالي 1.7 eV والضوء الأزرق يملك طاقة حوالي 2.7 eV.

يقوم الناخب اللوني(Monochromator) بإنتقاء طول موجة محدد مرغوب من طيف واسع من أطوال الموجة المختلفة ويتم ذلك عن طريق مرشح ملائم بوضع فلاتر ملونة على طريق الحزمة الضوئية، الشكل(3-52).



الشكل(3-52) فلاتر ملونة

الفصل الرابع

تصميم وتنفيذ المنظومة الإلكترونية

Design and Implementation of Electronic System

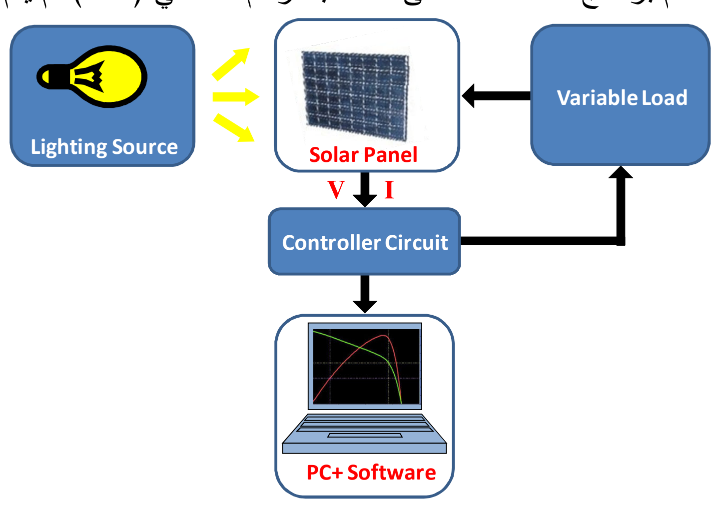
1-4 مقدمة : Introduction

إن بناء أي منظومة كهروشمسية يتم بعد معرفة الاستطاعة العظمى اللازمة لتغذية الأحمال الكهربائية التي يجب وصلها مع المنظومة الكهروشمسية، وعندئذ يجب معرفة استطاعة الألواح الشمسية اللازمة لبناء المنظومة وعددها وكيفية ربطها للحصول على الاستطاعة اللازمة لتغذية الأحمال الكهربائية ، وهذا يقودنا إلى معرفة المواصفات الأساسية للوح الشمسي والمتمثلة في تحديد المقادير المميزة لهذا اللوح ابتداءً من استطاعة اللوح الشمسي وانتهاءً بمعرفة كفاءة اللوح الشمسي المستخدم في بناء المنظومة[22].

من أجل ذلك قمنا بتصميم وتنفيذ منظومة إلكترونية مخبرية تعليمية لتوصيف الألواح الشمسية عن طريق ربط الدارة الالكترونية العملية (Hardware) مع برنامج (Software) يتم إعداده على الحاسب بغرض رسم المنحني (I -V) وإيجاد المقادير المميزة للوح الشمسي، ثم قمنا برسم المنحني (I -V) للوح الشمسي بدلالة شدة الإشعاع وطول الموجة وزاوية الورود ودرجة الحرارة.

2-4 مخطط المنظومة المقترح: System diagram

أخذنا تصوراً عن المخطط العام المقترح للمنظومة الالكترونية المراد تصميمها كما يبدو في الشكل (4-1)، حيث نربط على طرفي اللوح الشمسي Solar Panel المراد تحديد بارامتراته حمل متغير Variable Load نتحكم به عن طريق دارة تحكم Controller Circuit ومن أجل شدة الإشعاع الوارد من منبع ضوئي Lighting Source على سطح اللوح الشمسي، نقوم بمسح مميزة (I -V)، أي عند كل قيمة للحمل المتغير، نحصل على قيم V، I المقابلة وبالتالي نقوم بارسالها عن طريق دارة التحكم إلى الحاسوب PC وباستخدام برنامج Software على الحاسب نرسم المنحني (I -V) ثم يتم تحديد البارامترات



الشكل (4-1) المخطط العام للمنظومة الالكترونية المراد تصميمها

3–4 مبدأ رسم المنحني (I-V) للوح الشمسي وتحديد القيم المميزة لها:
The Principle of the Solar Cell I-V Curve and Determining of Parameters

يتم بتوصيل حمل متغير على طرفي اللوح الشمسي قيد الاختبار(Device Under Test) ومن ثم مسح منحني هذا اللوح من خلال تغيير هذا الحمل من القيمة الأصغرية (0Ω) إلى القيمة الأعظمية (∞Ω)، وأثناء عملية المسح يتم أخذ قيم الجهود والتيارات في نقاط مختلفة، وبرسم هذه النقاط نحصل على منحني الفولت-أمبير (I -V curve) للوح الشمسي، راجع الشكل (3-21)، حيث نلاحظ بأنه[24]:

- عندما تكون قيمة الحمل صفريةً فإن جهد اللوح يصبح صفرياً ونحصل على تيار الدارة القصيرة I_{sc} وهي أعظم قيمة للتيار الذي ينتجه اللوح الشمسي.
- عندما تكون قيمة الحمل أعظميةً فإن تيار اللوح يصبح صفرياً ونحصل على جهد الدارة المفتوحة V_{oc} وهي أعظم قيمة للجهد الذي تنتجه اللوح الشمسي.
- وبينهما عند منطقة الانحناء نحصل على قيمة التيار I_m وقيمة الجهد V_m اللذان يحددان قيمة الاستطاعة الأعظمية P_m.

وبمعرفة هذه القيم المميزة نستطيع تحديد باقي القيم المميزة الأخرى مثل المردود η وعامل الملءFF للوح الشمسي.

4–4 الطرائق المستخدمة في رسم المنحني (I -V) للوح الشمسي:
Methods used in (I-V) curve of the solar panel

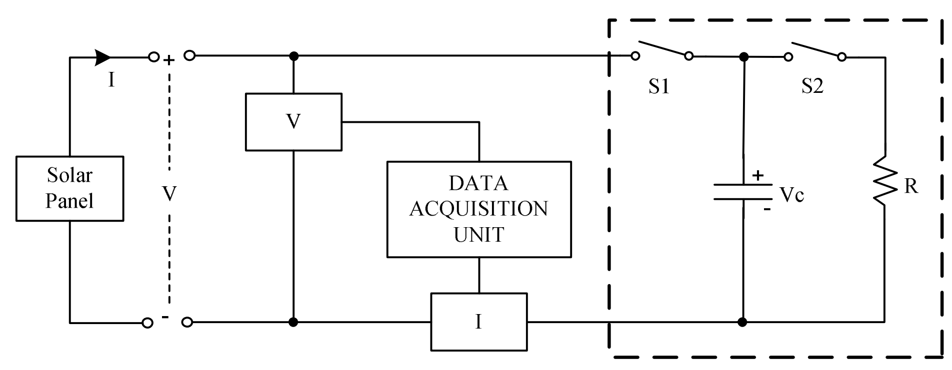
نربط بين طرفي اللوح الشمسي حملاً أومياً متغيراً، أو حمولات سعوية ثابتة القيمة أو حمولات تحريضية ثابتة القيمة أو منبعاً للجهد متغير القيمة، وبالتالي نحصل على الطرائق التالية:

4- 4-1 استخدام حمل سعوي (Capacitive Load):

يتم أخذ المعطيات (التيارات والجهود) خلال الحالة العابرة لشحن المكثف وهذا يسمح لنا بتحصيل المعطيات خلال أجزاء من الثانية، حيث أن التيار والجهد يتغيران عبر اللوح الشمسي خلال الحالة العابرة وصولاً إلى الحالة المستقرة.

عندما يغلق المفتاح S1 في الشكل (4–2) يكون في البداية المكثف فارغاً وبالتالي الجهد عليه يساوي الصفر، أي أن تيار الدارة القصيرة سوف يشحن المكثف وبالتالي سوف يرتفع الجهد ويتناقص التيار وهكذا حتى نصل إلى جهد الدارة المفتوحة التي يكون عندها التيار مساوياً إلى الصفر.

خلال هذه الفترة العابرة نكون قد أخذنا عدد كبير من الجهود والتيارات من خلال دارة تحصيل المعطيات (Data Acquisition Unit)[25].

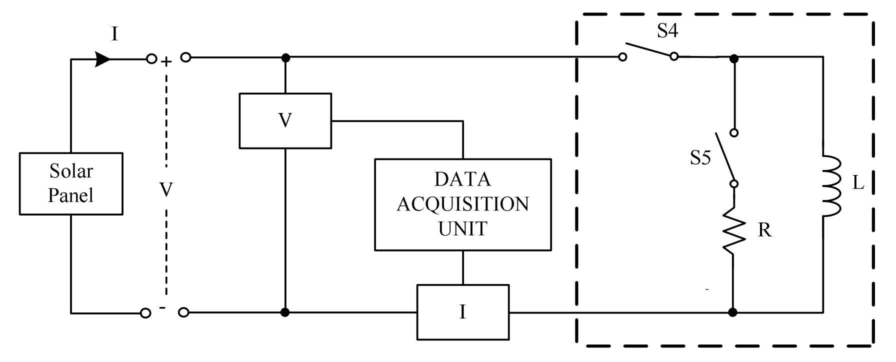


الشكل (4-2) دارة تحصيل المعطيات من اللوح الشمسي باستخدام حمل سعوي

4- 4-2 استخدام حمل تحريضي (Inductive Load):

يتم أخذ المعطيات (التيارات والجهود) خلال الحالة العابرة لشحن الملف وهذا يسمح لنا بتحصيل المعطيات خلال أجزاء من الثانية. عندما يغلق المفتاح S4 في الشكل (4−3) يكون في البداية الملف غير مشحون حيث تكون الدارة مفتوحة، وبالتالي يكون الجهد المطبق عليه مرتفعاً والتيار يساوي الصفر، ويبدأ بعدها التيار بشحن الملف وبالتالي الجهد سوف يتناقص ويرتفع التيار وهكذا حتى نصل إلى تيار الدارة القصيرة التي يكون عندها الجهد مساوياً إلى الصفر.

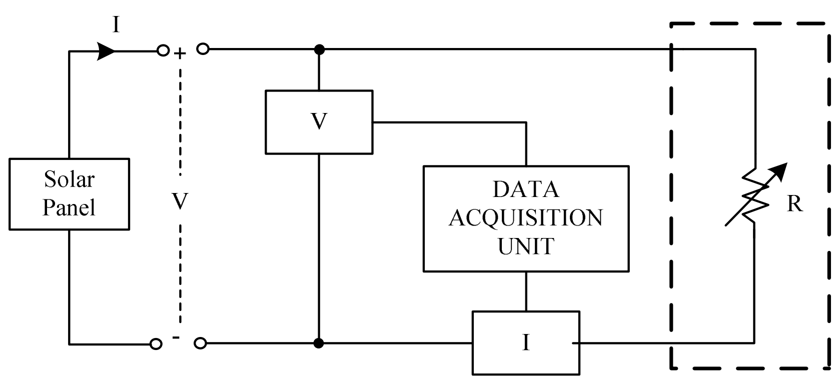
يتم أخذ العينات خلال هذه الفترة العابرة من الجهود والتيارات من خلال دارة تحصيل معطيات [25] .



الشكل (4-3) دارة تحصيل المعطيات من اللوح الشمسي باستخدام حمل تحريضي

4- 4-3 استخدام حمل أومي Load Ohmic:

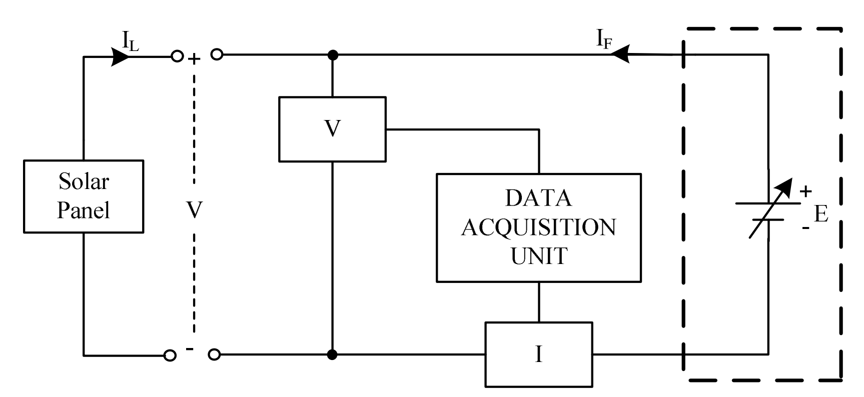
في حالة الحمل الأومي كما هو موضح في الشكل (4−4) من أجل كل قيمة للحمل نحصل على قيمة للجهد والتيار، وعند قيم مختلفة للحمولات نحصل على عدد كبير من النقاط والتي من خلالها نستطيع أن نرسم المنحني (I -V) للوح الشمسي، والتي تكون محدودة بنقطتين الأولى عندما R=0 نحصل على نظام الدارة المقصورة والتيار الخارجي هو I_{SC}، والثانية عندما R=∞ نحصل على نظام الدارة المفتوحة والتيار الخارجي I=0 والجهد الخارجي هو V_{OC} .



الشكل (4-4) دارة تحصيل المعطيات من اللوح الشمسي باستخدام حمل أومي

4 -4 -4 استخدام منبع جهد متغير: Variable DC Voltage

نضع منبع جهد E بشكل أمامي على طرفي اللوح الشمسي المعرض للتدفق الضوئي كما في الشكل (4−5) ونبدأ بزيادة هذا المنبع. عندما $E = 0$ فإن الدارة مقصورة وبالتالي يكون التيار المار في الدارة الخارجية هو $I_{SC} = I_L$. مع زيادة E يبدأ المتصل $P-N$ بالانزياح أمامياً ويظهر التيار I_F الذي يطرح من I_L ويتناقص التيار الخارجي حتى يصبح مساوياً للصفر عندما $V_{OC} = E$ وهذا يقابل الدارة المفتوحة.



الشكل (4-5) دارة تحصيل المعطيات من اللوح الشمسي باستخدام منبع جهد متغير

5-4 الطريقة الأولى المستخدمة في البحث لرسم مميزة (I-V) للخلية الشمسية(الطريقة الآلية):
The first method used in this research to draw a distinct (I-V) of the solar cell (automated procedure)

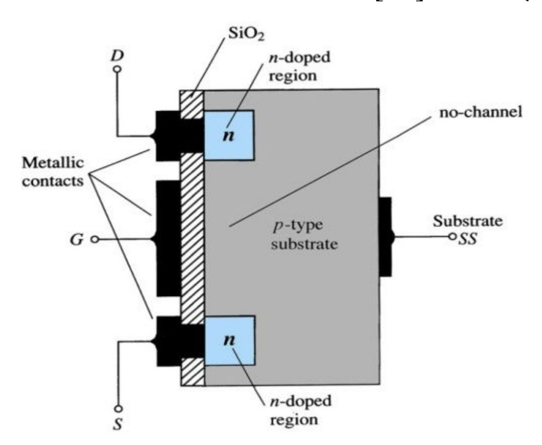
هي طريقة جديدة قمنا باستخدامها لتحديد المقادير المميزة Parameters للألواح الشمسيِّة وذلك برسم مميزة فولت-أمبير (I -V curve) للوح الشمسي باستخدام الترانزيستور الحقلي في النمط المعزز The Enhancement-mode MOSFET ذو القناة (n) كحمل، وذلك بالاستفادة من مميزات الترانزيستور الحقلي MOSFET-E(n).

ومبدأ العمل في هذه الطريقة تتلخص بالتحكم بجهد البوابة للترانزيستور الحقلي MOSFET-E(n) عن طريق متحكم مصغر Microcontroller ليتم تغيير نقطة العمل للوح الشمسي ضمن مختلف مناطق عمل الترانزيستور الحقلي من القطع الى الاشباع مروراً بالمنطقة الأومية وهكذا يتم مسح و رسم مميزة فولت-أمبير للوح الشمسي بشكلٍ كامل.

في هذا السياق من المفيد أن نعطي فكرة موجزة عن الترانزيستور الحقلي في النمط المعزز ذو القناة (n)، لنعرف السبب الذي دعانا الى اختيار هذه الأداة لاستخدامها كحمل.

1-5-4 الترانزيستور الحقلي المعزز The Enhancement-mode MOSFET:

يختلف ترانزستور النمط المعزز /MOSFET/ في بنيته عن الترانزستور /MOSFET/ ذي النمط الناضب بسبب عدم وجود منطقة من المادة n خاصة بالقناة كما كان عليه الحال في العناصر المصنعة من النمط الناضب، وبدلا من ذلك وبفعل الحقل الكهربائي ما بين البوابة والطبقة السفلية تتعزز الناقلية في جزء من الطبقة السفلية لتشكيل القناة. [26]



الشكل (4-6) بنية الترانزيستور الحقلي MOSFET-E(n) .

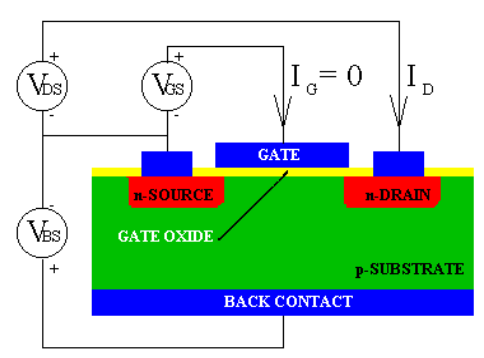
يبين الشكل(4–6) بنية هذا العنصر المصنع، حيث أن الطبقة السفلية مصنوعة من مادة من النوع p ، أما منطقتي كل من المصرف والمنبع فكلتاهما من النوع n، إن البوابة في هذا العنصر المصنع معدنية ومعزولة عن الطبقة السفلية بطبقة عازلة.

إذا تركنا الان البوابة في دارة مفتوحة وطبقنا جهداً مابين المصرف والمنبع، فإن تياراً ضعيفاً جداً يمكن

إهماله يسري في الترانزيستور نطلق عليه اسم تيار الإشباع العكسي.

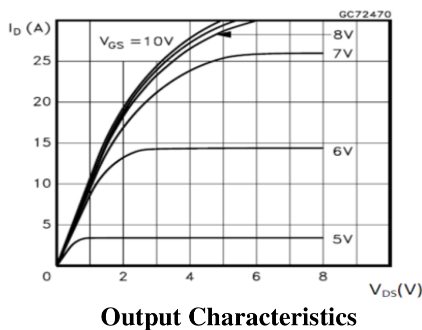
نطبق جهداً موجباً V_{GS} وجهداً موجباً V_{DS} حيث تتشكل القناة من نوع N التي تسمح بمرور التيار كما في الشكل (4-7).تدعى القيمة الأصغرية للجهد V_{GS}،التي تتشكل عندها القناة والتي تؤدي إلى مرور تيار I_D اكبر من تيار الإشباع العكسي بجهد العتبة V_{Th} (Threshold Voltage) حيث تتراوح قيمته بين 3V إلى 4V.

بزيادة الجهد V_{GS} الموجب فوق قيمة جهد العتبة V_{Th} يزداد عرض القناة وتنقص مقاومتها، وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة في قيمة التيار I_D.

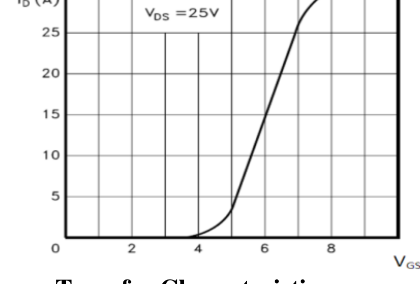


الشكل (4-7) بنية الترانزيستور الحقلي مع التوصيلات الخارجية

يبين الشكل (4-8) مجموعة من مميزات الخرج الساكنة Output Characteristics والتي يكون فيها $I_D= f\ (V_{DS})$ من أجل قيم متعددة للجهد V_{GS} . نلاحظ هنا بان الترانزيستور يعمل كمقاومة خطية نتحكم بقيمتها بوساطة الجهد V_{GS}، ويجب الملاحظة أن قيمة جهد العتبة V_{Th}=+4V، كما يبين الشكل (4-8) مجموعة من مميزات التحويل الساكنة Transfer Characteristics ، والتي نلاحظ من خلالها أنه عندما تكون $V_{GS} \leq 4V$ فإننا مهما غيرنا في قيمة الجهد V_{DS} نحو القيم الكبيرة، فإن تيار المصرف يبقى مساوياً للصفر I_D =0 ، ونكون بشكل دائم في منطقة ما بعد الاختناق الذي يحدث في نهاية القناة من جهة المصرف.أما إذا أصبحت V_{GS}>4V وغيرنا قيمة V_{DS} باتجاه القيم الكبيرة فإننا نرى من الشكل إن العنصر المصنع يسلك سلوك منبع للتيار الذي نتحكم في قيمته بوساطة جهد البوابة وهذا يحدث في منطقة ما بعد الاختناق.



Output Characteristics



Transfer Characteristics

الشكل (4-8) مميزات الخرج والمميزات التحويلية للترانزيستور الحقلي

4 -6 طريقة البحث والنتائج:Research Method And Results

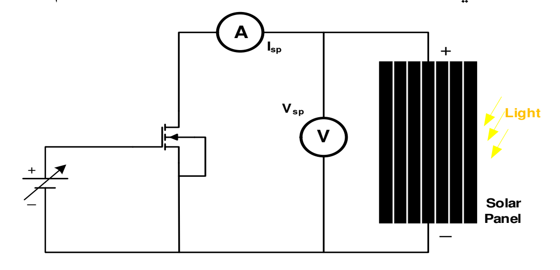
في بحثنا هذا قمنا بإجراء المراحل التالية:

1-6-4 رسم منحنى (I -V) للوح الشمسي باستخدام الترانزيستور الحقلي MOSFET-E(n) كحمل، يتم التحكم بجهد البوابة عن طريق منبع جهد متغير:

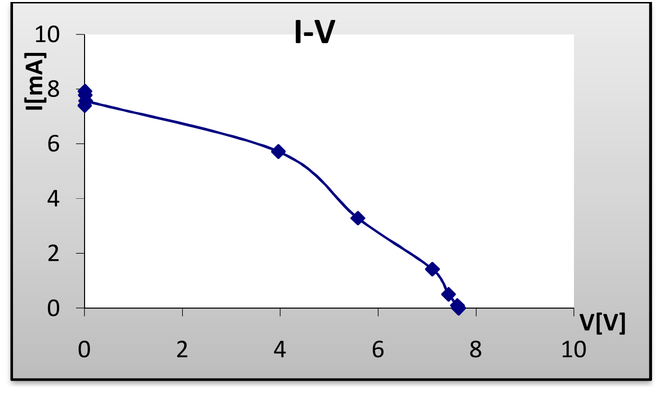
Draw a (I-V) curve of the solar cell using MOSFET-E(n) transistor as a loading element ,MOSFET gate voltage control via variable power supply

استخدمنا في البداية الترانزيستور من النوع IRF840 ذو القناة n الذي نضعه على طرفي اللوح الشمسي ومساحته: $(14.5x9.5)\ cm^2$ حيث نوصل المصرف إلى القطب الموجب للوح عبر مقياس الأمبيرمتر الموصول على التسلسل لقياس تيار اللوح I_{sp} ونوصل المنبع إلى القطب السالب للوح، ولقياس الجهد على طرفي اللوح V_{sp} استخدمنا مقياس الفولتمتر الموصول على التفرع، ويتم التحكم بجهد البوابة عن طريق منبع جهد متغير، كما هو موضح في الشكل (4−9).

نقوم بتطبيق شدة اشعاع ثابتة، باستخدام مصباح هالوجين ذو عاكس وذو حزمة ضيقة spot باستطاعة 50W، ومع تغيير جهد البوابة ينتقل عمل الترانزيستور من القطع إلى المنطقة الأومية ومن ثم إلى منطقة الإشباع، أي تنتقل نقطة عمل اللوح الشمسي مع كل تغيير لجهد البوابة كما في الشكل (4−10)، حيث تم رسم المنحني (I-V) للوح الشمسي باستخدام برنامج الأكسل Excel، والملاحظ هنا أن شكل المنحني يفتقد إلى الإنسيابية والدقة والسبب في ذلك يعود إلى أن تغيرات جهد البوابة غير منتظمة لأن التغيير كان يدوياً،.ولكي يكون التغيير منتظماً استخدمنا متحكم مصغر .



الشكل (4-9) ربط اللوح الشمسي مع الترانزيستور الحقلي



الشكل (4-10) منحنى (I-V) للوح الشمسي باستخدام الترانزيستور الحقلي

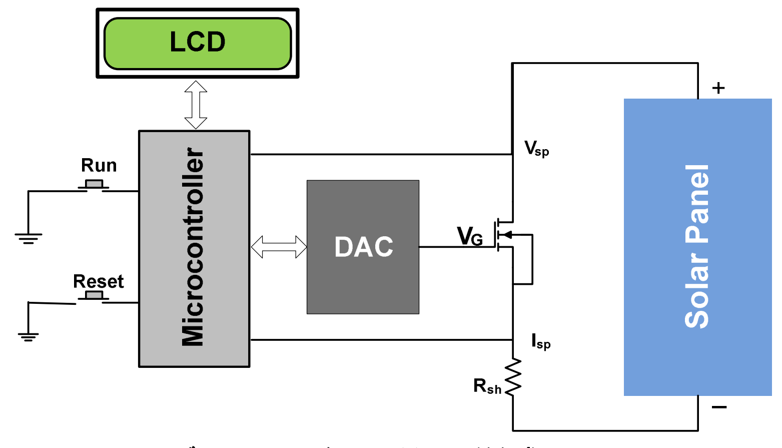
2-6-4 رسم منحنى (I -V) للوح الشمسية باستخدام الترانزيستور الحقلي MOSFET-E(n) كحمل،يتم التحكم بجهد البوابة عن طريق متحكم مصغر Microcontroller(الطريقة الآلية):

Draw a distinct (I-V) of the solar cell Using MOSFET-E(n) Transistor as a Loading Element,MOSFETgate voltage control via a micro-controller(automated procedure)

مبدأ العمل في هذه الطريقة يتلخص بالتحكم بجهد البوابة للترانزيستور الحقلي MOSFET-E(n) بخطوات منتظمة عن طريق متحكم مصغر، ويتم تغيير نقطة العمل للوح الشمسي ضمن مختلف مناطق عمل الترانزيستور الحقلي من القطع إلى الإشباع مروراً بالمنطقة الأومية، وهكذا يتم مسح ورسم منحني فولت-أمبير للوح الشمسي بشكلٍ كامل ومنتظم.

1-2-6-4 المخطط الصندوقي للدارة العملية:Block diagram of circuit operation

يتم توصيل دارة المتحكم المصغر إلى بوابة الترانزيستور عبر دارة مبدل رقمي تشابهي DAC ليتم تحويل القيم الرقمية المنتظمة للمتحكم المصغر إلى جهود تشابهية V_G تطبق على بوابة الترانزيستور كما في الشكل (4-11)، وعند كل قيمة من جهد البوابة يتم إرسال قيمة جهد اللوح الشمسي V_{sp} وتيار اللوح الشمسيI_{sp} إلى المتحكم المصغر، ومن ثم يتم تخزينه وهكذا نحصل على مصفوفة من قيم الجهود والتيارات V_{sp}، I_{sp} التي يمكن إظهارها عبر شاشة الإظهار LCD تباعاً، وكل ذلك من خلال إعطاء أمر التشغيل عبر المفتاح Run، وإذا أردنا إعادة العملية مرة أخرى نقوم بتصفير المعلومات من خلال المفتاح Reset.



الشكل (4-11) المخطط الصندوقي للدارة العملية

2-2-6-4 آلية عمل الخوارزمية:Mechanism of Action of the Algorithm

يبين الشكل (4-12) خوارزمية عمل الدارة والتي تعمل وفق المراحل التالية:

1- يبدأ البرنامج اعتباراً من التعليمة.Start

2- يتم التحقق من الشرط الأول هل تم الضغط على زر التصفير Reset أم لا ؟.

3- في حال تم الضغط على زر التصفير يتم تصفير مصفوفة معطيات الجهد والتيار التي قام بتخزينها سابقاً مع تصفير العداد.

4- في حال عدم الضغط على زر التصفير ينتقل إلى الإجراء التالي وهو التحقق هل تم الضغط على زر التشغيل Run أم لا ؟.

5- في حال عدم التحقق ينتقل إلى البداية وفي حال التحقق يتم الانتقال إلى الخطوة التالية وهي الدخول في حلقة أخذ العينات لمنحني الفولت – أمبير للوح الشمسي.

6- يبدأ في أخذ العينات بزيادة جهد البوابة V_Gخطوة خطوة وقراءة معطيات الجهد والتيار خطوة خطوة ومن ثم تخزين مصفوفة معطيات الجهد والتيار، وهكذا تستمر هذه الحلقة في التكرار حتى ينقل جهد البوابة الترانزيستور إلى حالة الإشباع وعندها يصبح قيمته V_{MAX} (هو جهد البوابة الذي يقابل عمل الترانزيستور في حالة الإشباع) وذلك من خلال التحقق من الشرط $V_{MAX} \geq V_G$.

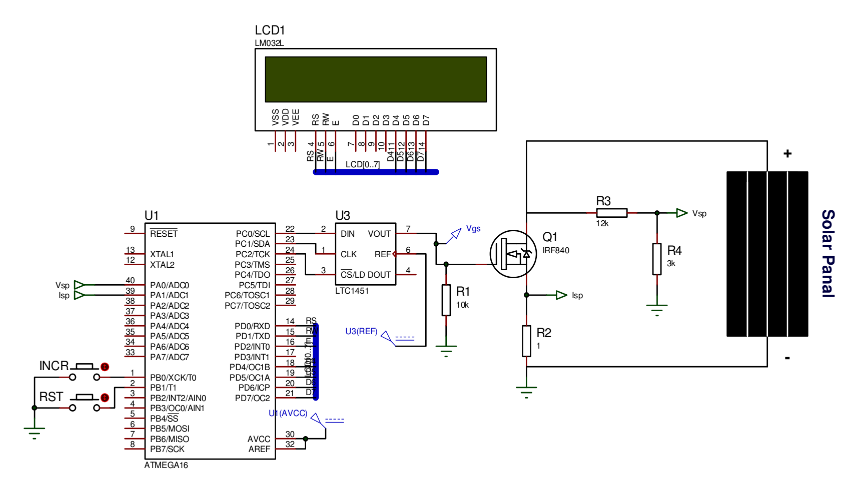
7- في حال تحقق هذا الشرط يخرج من حلقة أخذ العينات وترسل البيانات ضمن مصفوفات لمعطيات الجهد والتيار إلى الحاسب. ليبدأ عمل الخوارزمية من البداية، وهكذا تنتهي دورة أخذ العينات.

مع العلم أن مقدار الخطوة Step تعطى بالعلاقة التالية: $$\text{الخطوة} = \frac{\text{الجهد المرجعي}}{\text{دقة المبدل DAC(12 bits)}}$$

الشكل (4-12) خوارزمية عمل الدارة

3-2-6-4 المخطط الإلكتروني للدارة العملية:Planned of the electronic circuit operation

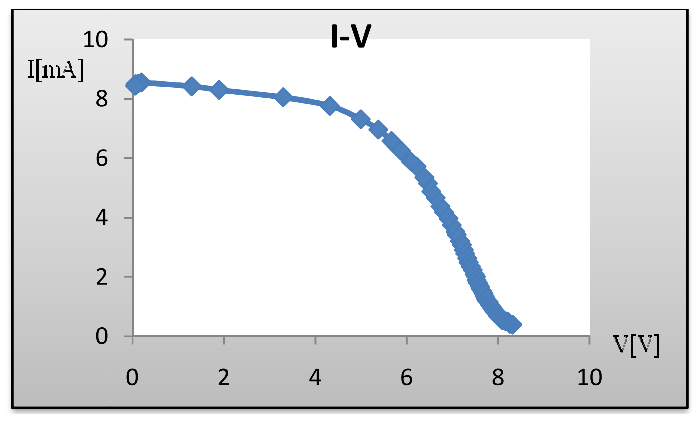
تم استخدام المتحكم المصغر ATMEGA16 ودارة DAC من النوع LTC1451 لتحويل القيم الرقمية المنتظمة للمتحكم المصغر إلى جهود تشابهية V_{GS} والتي تطبق على بوابة الترانزيستور، الشكل (4–13)



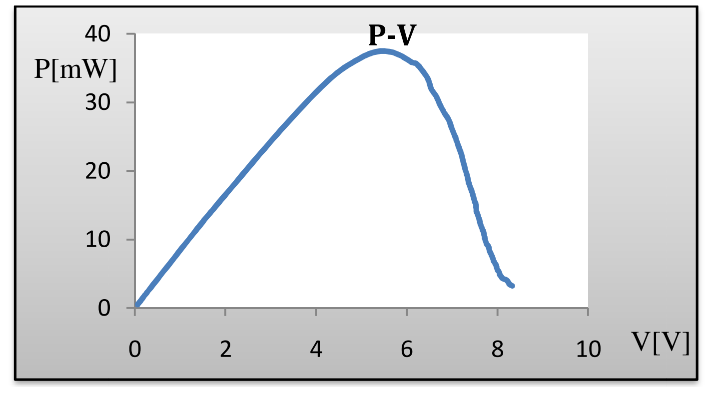
الشكل (4-13) الدارة العملية لتحصيل المعطيات من اللوح الشمسي

4-2-6-4 النتائج العملية:Practical Results

من خلال إجراء التجربة العملية عند شدة اشعاع ثابتة، باستخدام مصباح الهالوجين ذو النهايتين باستطاعة 500W دون عاكس خلفي نحصل على النتائج التالية المبينة في الشكل (4-14)، التي توضح المنحني (I-V) للوح الشمسي والشكل (4-15) يوضح منحني الاستطاعة (P-V) للوح الشمسي وذلك باستخدام برنامج الأكسل.



الشكل (4-14) منحني (I -V) للوح الشمسي



الشكل (4-15) منحني (P-V) للوح الشمسي

تم تنفيذ هذه الطريقة تجريبياً وحصلنا على نتائج دقيقة وبزمن قياسي، الأمر الذي يتيح لنا رسم المنحني آلياً مع استنتاج المقادير المميزة للوح الشمسي، وبعد أن تأكدنا بان الترانزيستور الحقلي MOSFET-E(n) يمكن استخدامه فعلاً كحمل متغير، فقد تم اختياره ضمن مكونات المنظومة الإلكترونية لرسم منحنى فولت-أمبير للوح الشمسي آلياً، كما تم اختيار طريقة أخرى باستخدام شبكة مقاومات ذات قيم متدرجة وإيجاد قيم التيار والجهد الموافق لكل حالة من حالات توصيل هذه الشبكة ويمكن ملء جدول بهذه القيم ورسم المنحنى يدوياً.

4-7 الطريقة الثانية المستخدمة في البحث لرسم مميزة(I-V) للخلية الشمسية(الطريقة اليدوية):

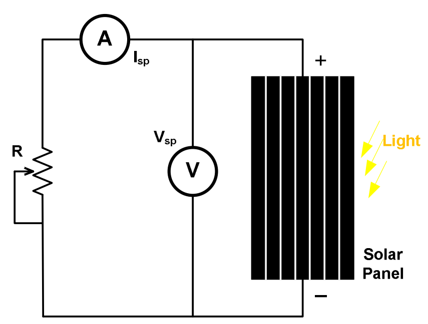
The second method used in this research to draw a distinct (I-V) of the solar cell (manual procedure)

في بحثنا هذا قمنا بإجراء الأمور التالية:

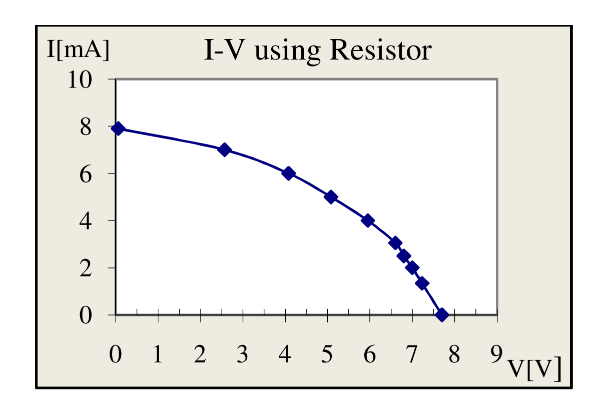
4-7-1 رسم منحنى (I -V) للوح الشمسي باستخدام المقاومة المتغيرة كحمل أومي:

Draw a distinct (I-V) of the solar cell Using aVariable Resistor as a Omic Loading

قمنا بتوصيل اللوح الشمسي مباشرة مع مقاومة متغيرة كما في الشكل (4−16)، وتم أخذ قيم التيار والجهود عند قيم مختلفة للحمل الأومي، وتم رسم منحنى (I-V) للوح الشمسي باستخدام برنامج الاكسل، كما في الشكل (4−17)عند تطبيق شدة اشعاع ثابتة، باستخدام مصباح هالوجين ذو عاكس و ذو حزمة ضيقة باستطاعة50W.



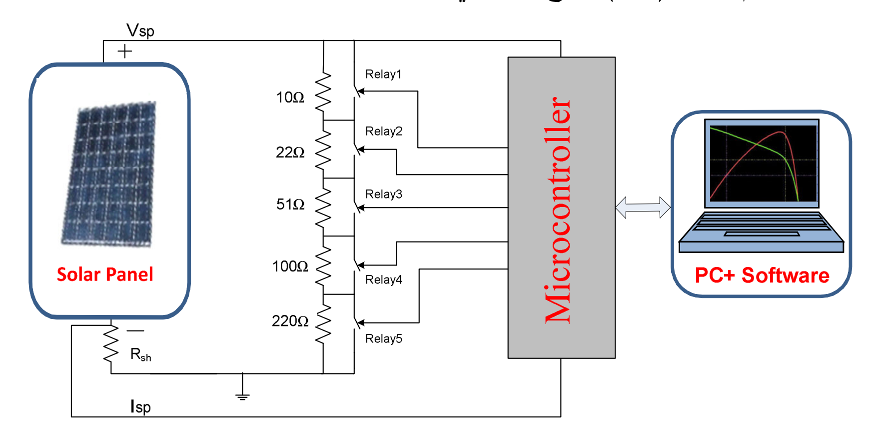
الشكل (4-16) ربط اللوح الشمسي مع المقاومة المتغيرة



الشكل (4-17) منحنى (I -V) للوح الشمسي باستخدام مقاومة متغيرة.

2-7-4 تصميم وتنفيذ منظومة حمل متغير باستخدام شبكة مقاومات كحمل أومي:
Choose a network of resistors as a Omic Loading

هذه الطريقة تتم باختيار خمس مقاومات ذات قيم مختلفة (10Ω ,22Ω ,51Ω ,100Ω ,220Ω) مربوطة كما في الشكل(4-18)، بحيث يتم ادخال المقاومة على التسلسل أو اخراجها بوساطة مفتاح أو باستخدام الحاكمة Relay، وهكذا تصبح لدينا 32 قيمة متغيرة للمقاومات يوجد مقابلها 32 قيمة لكل من الجهد والتيار يمكن من خلالها رسم مميزة(I-V) للوح الشمسي.



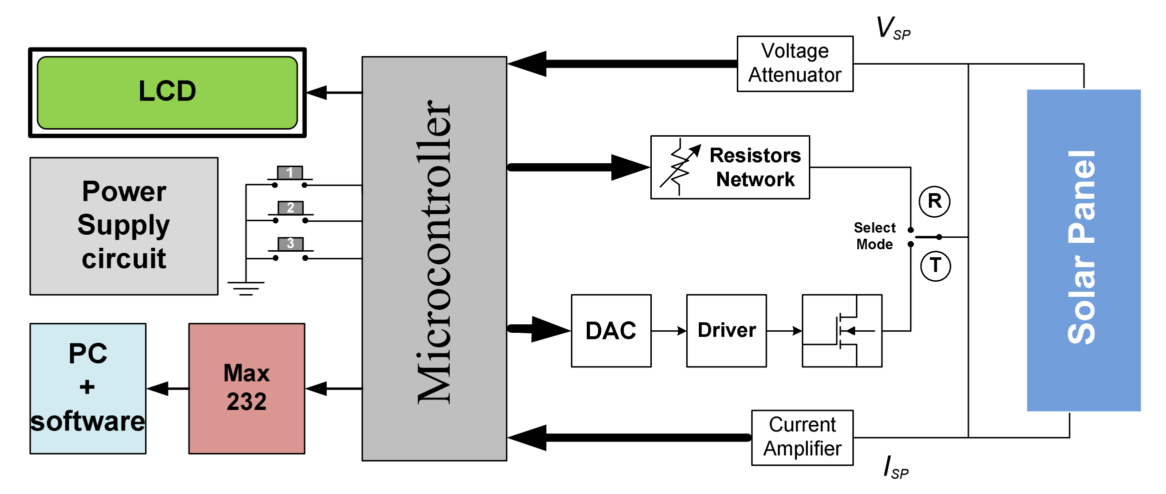
الشكل (4-18) المخطط الصندوقي لرسم مميزة (I-V) للوح الشمسي عن طريق شبكة المقاومات

ومبدأ العمل يكون على الشكل التالي: يعطى أمر عن طريق الحاسب الى المتحكم المصغر باغلاق أو فتح الحاكمات وفق منطق العد الثنائي، وهذا يعني قصر Short المقاومة التي تقابل الحاكمة المغلقة وبالتالي اخراجها، بينما يتم ادخال المقاومة على التسلسل تلك التي تقابل الحاكمة المفتوحة، وهكذا نحصل على 32 قيمة متغيرة للمقاومات، قيمها معلومة، وعند كل قيمة للمقاومة يأخذ المتحكم المصغر قيمة الجهد V_{sp} والتيار I_{sp} الذي يقابلها، ويتم ارسالها الى الحاسب ليتم قراءتها، وبتكرار العملية من أجل 32 قيمة مختلفة للمقاومة نحصل على 32 قيمة للجهد والتيار يمكن من خلالها رسم مميزة (I-V) للوح الشمسي.

تم اختيار هذه الطريقة ضمن مكونات المنظومة الإلكترونية وذلك لرسم منحني فولت-أمبير للوح الشمسي يدوياً.

8-4 المخطط الصندوقي للمنظومة الإلكترونية: The Block diagram of hardware system

لقد تم وضع الطريقتين في الدارة النهائية للمنظومة الإلكترونية، والتي أصبح المخطط الصندوقي لها كما في الشكل (4-19):



الشكل (4-19) المخطط الصندوقي لكامل للمنظومة الإلكترونية

من خلال مفتاح ذي وضعيتين يتم توصيل الحمل إما عن طريق الترانزيستور Ⓣ، أو عن طريق شبكة المقاومات Ⓡ، والمتحكم المصغر يحدد اختيار نمط العمل إما بواسطة الترانزيستور أو شبكة المقاومات عن طريق المفاتيح 1،2،3 وفق الخوارزمية المبينة في الشكل(4-21)، وفيما يلي نبين عمل كل صندوق:

1-8-4 المتحكم المصغر: Microcontroller

يتم التحكم بعمل معظم الأجهزة الحديثة إما باستخدام معالج مصغر Microprocessor أو متحكم مصغر Microcontroller، وقد وقع الاختيار على المتحكم المصغر ATMEGA 16 لقيادة المنظومة لأنه يتمتع بالمزايا التالية[27] :

1- يحتوي على أربع منافذ كل منها بطول 8- bit تعمل كدخل أو كخرج أي 32-I/Opins

2- مبدل تشابهي رقمي ADC بثمانية أقنية انتخاب تشابهية استخدمت لقياس جهود وتيارات اللوح الشمسي

3- منافذ اتصال تسلسلية: UART، SPI، TWI

4- ذواكر: Memories

- ذاكرة برنامج سريعة بسعة 16KB
- ذاكرة ثابتة EEPROM (Non Volatile) بسعة 512B
- ذاكرة وصول عشوائية بسعة 1KB RAM

إن دارة المنظومة الإلكترونية المبينة بالشكل(4-32) تحتاج إلى هذه المتطلبات حيث تم استخدام أقطاب المنفذ Port C للتحكم بجهد البوابة للترانزيستور عن طريق المبدل DAC وايضاً للتحكم بوضعية الحاكمات، وتم استخدام أقطاب المنفذ Port B كخرج وذلك بوصلها مع شاشة الاظهار الكريستالية LCD،

وتم استخدام قطبين من أقطاب المتحكم Port A كدخل لقراءة معطيات الجهد والتيار للوح الشمسي، و تم استخدام قطبين من أقطاب المتحكم Port D للارسال والاستقبال باستخدام نمط الاتصال التسلسلي UART مع الدارة MAX232 .

أما بالنسبة للذواكر فقد استهلك برنامج التحكم وتحصيل المعطيات حوالي 28.5% من ذاكرة البرنامج واستهلكت المعطيات حوالي 3.1% من الذاكرة SRAM Data Memory.

4-8-1-1 النافذة التسلسلية Serial Port UART :UART

- **ميزات النافذةUART : Advantages Of Hardware UART**

النافذة UART Universal Asynchronous Receiver Transmitter وهي عبارةعن مرسل ومستقبل تسلسلي عام غير متزامن، وتتمتع بالمزايا التالية:

- تعمل النافذة بشكل مزدوج (إمكانيةالإرسال والاستقبال في نفس اللحظة)
- معدلات إرسال عالية.
- توليد أي معدل إرسال.
- المعطيات المرسلة أو المستقبلة تتألف من ثمان أو تسع خانات.
- ترشيح ضد الضجيج بوساطة مرشح تمرير منخفض رقمي.
- اكتشاف خطأ الاطار.
- ثلاث مقاطعات منفصلة، عند اكتمال الإرسال TX Transmission، وعند فراغ مسجل المعطيات UDR Data Register، وعند اكتمال الاستقبال RX Reception.

4-8-1-2 المبدل التشابهي الرقمي Analog -to- Digital Conversion:ADC

المبدل التشابهي الرقمي ADC مدمج ضمن شريحة المتحكم ويحوي على ثمانية أقنية انتخاب تشابهية، ويتمتع بالمزايا التالية:

- دقة المبدل 10-bit.
- زمن التحويل 260 µs - 13.
- مجال جهد الدخل للمبدل VCC - 0.
- امكانية اختيار جهد مرجعي وقدره 2.56V .
- يستخدم تقنية التقريب المتتالي بعرض 10-bit.
- دقة مطلقة ±2 LSB.
- ثمان أقنية انتخاب تشابهية.
- سبع أقنية دخل تفاضلية.
- قناتي دخل تفاضليتين مع امكانية ربح 10x و200x
- دارة أخذ ومسك العينات.

3-1-8-4 برمجة المتحكم المصغر:

تم كتابة برنامج المتحكم باستخدام برنامج Code Vision بلغة C، كما في الشكل (4−20)، الذي يبين جزءاً من البرنامج، الذي يقوم لدى عملية الترجمة Compilition بتوليد ثلاث ملفات وهي :1− ملف بلغة (C) 2− ملف بلغة الاسمبلي (asm) 3− ملف بلغة (hex).

يتم برمجة المتحكم المصغر بوساطة مبرمجة خاصة بالمتحكمات AVR حيث يتم تحميل الملف (hex) الى ذاكرة البرنامج للمتحكم المصغر عن طريق المبرمجة.

```
lcd_clear();
lcd_putsf("1.MODE");
while(1)
{
  delay_ms(50);
  k=key_press(4);  //Button1
  if(k==1)
   {
   lcd_clear();
   lcd_putsf("1.Transistor\n2.Resistor");
     while(1)
     {
       k=key_press(4);   //Button1 >> Transistor
       if(k==1)
       {
          lcd_clear();
          lcd_putsf("Transistor Mode\n1.Manual 2.Auto");
          while(1)
          {
           delay_ms(50);
           k=key_press(4);   //Button1 >> Manual
           if(k==1)transistor_mode(Manual);
           k=key_press(8);   //Button2 >> Auto
           if(k==1)transistor_mode(Auto);
           k=key_press(16);  //Button3 >> Exit
           if(k==1) {lcd_clear();lcd_putsf("Transistor Mode\n1.Manual 2.Auto");break;}
          }
       }
       k=key_press(8);   //Button2 >> Resistor
       if(k==1)
```

الشكل(4−20) جزء من برمجة المتحكم باستخدام برنامج Code Vision بلغة C

2-8-4 آلية عمل خوارزمية المنظومة:Mechanism of Action of the Algorithm

كما هو مبين في الشكل (4−21) فإن خوارزمية عمل كامل المنظومة الإلكترونية تكون وفق ما يلي:

1- يبدأ البرنامج اعتباراً من التعليمة Start.

2- بعد ذلك يتم تهيئة عامة وفيها يتم تهيئة كل من منافذ المتحكم المصغر (كدخل وخرج) وأيضاً تهيئة المنفذ التسلسلي Serial Port (UART) وأيضاً ضبط اعدادات المبدل التشابهي الرقمي الموجود ضمن شريحة المتحكم المصغر.

3- تظهر النافذة Mode [1.MODE]، فإذا تم الضغط على المفتاح B1 ينتقل الى اختيار نمط العمل إما الترانزيستور أو المقاومات [1.Transistor 2.Resistor]، وإذا لم يتم الضغط على المفتاح B1، يبقى عند النافذة Mode [1.MODE].

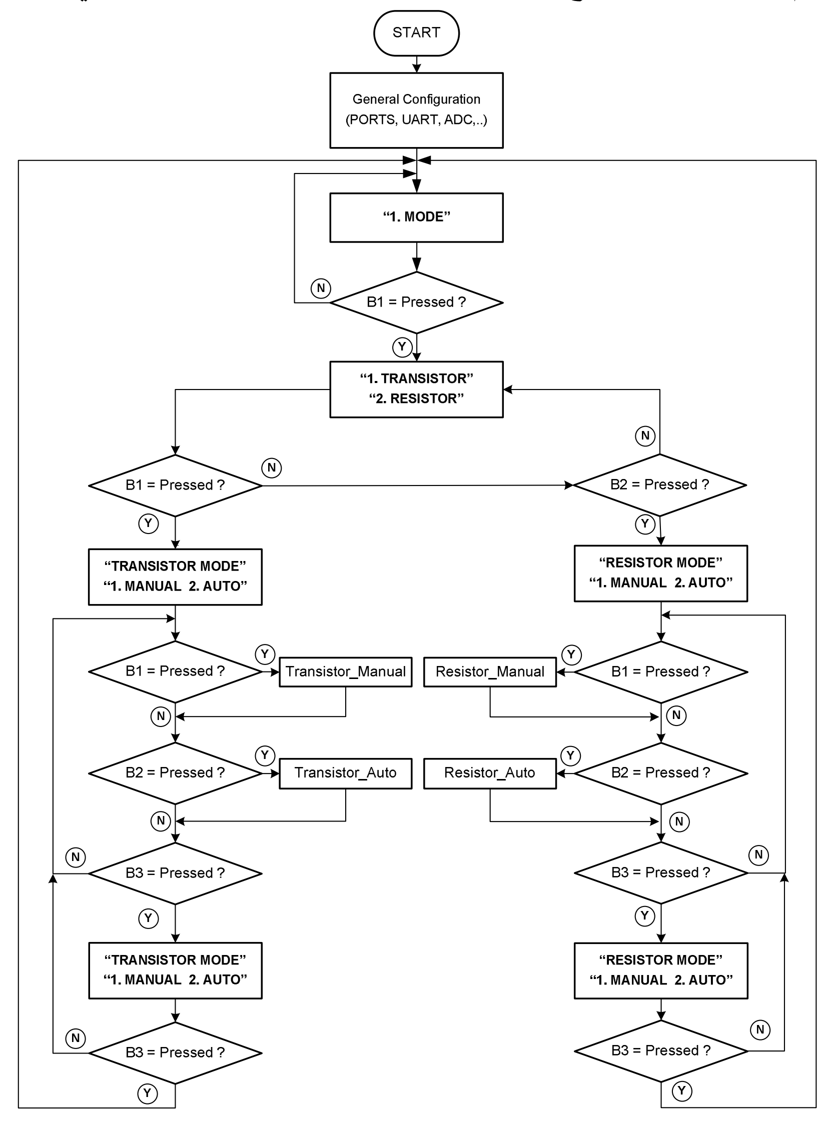
4- في حال تم الضغط على المفتاح B1 مرة أخرى،ينتقل الى نمط العمل الترانزيستور [Transistor Mode 1.Manual 2.Auto]

5- إذا لم يتم الضغط على المفتاح B1 وتم الضغط على المفتاح B2، ينتقل الى نمط العمل المقاومة [Resistor Mode 1.Manual 2.Auto]. و إذا لم يتم الضغط على المفتاح B1 ولا على المفتاح B2 يبقى عند نافذة اختيار نمط

العمل إما الترانزيستور أو المقاومات 1.Transistor 2.Resistor

6- إذا كنا في نمط العمل الترانزيستور، فهناك خياران إما Manual أو Auto:

- فإذا تم الضغط على المفتاح B1 ينتقل الترانزيستور الى وضعية العمل اليدوي Manual
- وفي حال تم الضغط على المفتاح B2، ينتقل الترانزيستور الى نمط العمل الآلي Auto



الشكل (4-21) المخطط التدفقي لخوارزمية عمل المنظومة

7- عند الانتهاء من انماط العمل المختلفة، بالضغط على المفتاح B3 نعود الى نمط العمل الترانزيستور، أي الى الخطوة 6.

8- أما إذا كنا في نمط العمل المقاومة، فهناك ايضاً خياران إما Manual أو Auto:

- فإذا تم الضغط على المفتاح B1 ينتقل الى وضعية العمل اليدوي للمقاومات Manual.
- و في حال تم الضغط على المفتاح B2، ينتقل الى نمط العمل الآلي للمقاومات Auto

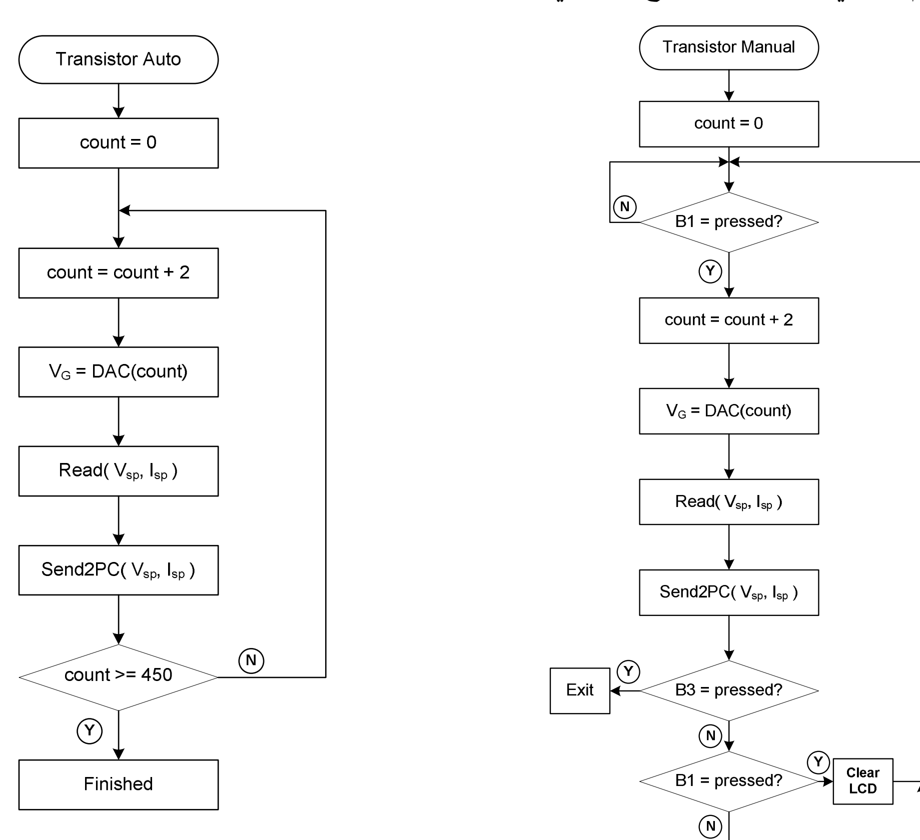
9- عند الانتهاء من انماط العمل المختلفة، بالضغط على المفتاح B3 نعود الى نمط العمل المقاومات.أي الى الخطوة 8.

4-8-2-1 خوارزمية عمل الترانزيستور في النمط اليدوي:

يبين الشكل (4–22) المخطط التدفقي لخوارزمية عمل الترانزيستور في النمط اليدوي، والتي تم استخدامها للتأكد من عمل الترانزيستور وذلك بزيادة جهد البوابة خطوة خطوة ومراقبة جهد وتيار اللوح الشمسي،وهو غير مخصص لعمل المنظومة، إنما استخدمناه فقط تجريبياً.

4-8-2-2 خوارزمية عمل الترانزيستور في النمط الآلي:

كما يبين الشكل(4–22)المخطط التدفقي لخوارزمية عمل الترانزيستور في النمط الآلي، وفيها تم أخذ 450 عينة لكل من الجهد والتيار للوح الشمسي. وقد تم اختيارهذه الطريقة ضمن مكونات المنظومة الإلكترونية وذلك لرسم منحني فولت-أمبير للوح الشمسي آلياً.



الشكل (4-22) المخطط التدفقي لخوارزمية عمل الترانزيستور في النمطين اليدوي والنمط الآلي

4-8-2-3 خوارزمية عمل المقاومة في النمط الآلي:

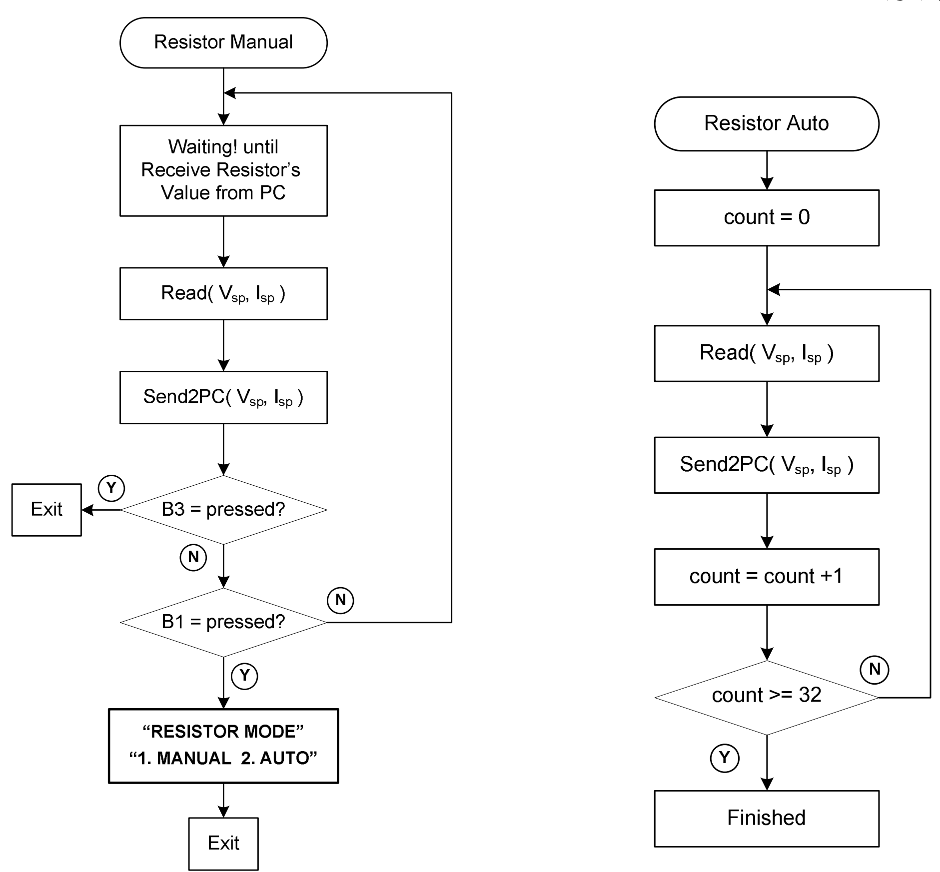
يبين الشكل (4–23) المخطط التدفقي لخوارزمية عمل المقاومة في النمط الآلي، والتي تم استخدامها للتأكد من عمل شبكة المقاومات بحيث يتم فتح واغلاق الريليات ألياً وفق منطق العد الثنائي عن طريق المتحكم

المصغر وارسال قيم جهود وتيارات اللوح الشمسي الى الحاسب، وهو غير مخصص لعمل المنظومة، إنما استخدمناه فقط تجريبياً.

4-2-8-4 خوارزمية عمل المقاومة في النمط اليدوي:

يبين الشكل (4−23) المخطط التدفقي لخوارزمية عمل شبكة المقاومات في النمط اليدوي، حيث يتم اختيار قيمة المقاومة التي تعمل كحمل عن طريق البرنامج ويتم ارسالها الى المتحكم المصغر الذي يضع قيمة المقاومة هذه حيز التنفيذ ويتم قياس جهد وتيار اللوح الشمسي عند هذه القيمة ومن ثم يقوم بارسالها الى البرنامج ليتم قرائتها ثم وضعها في الجدول،وهكذا من أجل جميع الحالات (32 حالة).

وقد تم اختيارهذه الطريقة ضمن مكونات المنظومة الإلكترونية وذلك لرسم منحني فولت-أمبير للوح الشمسي يدوياً.

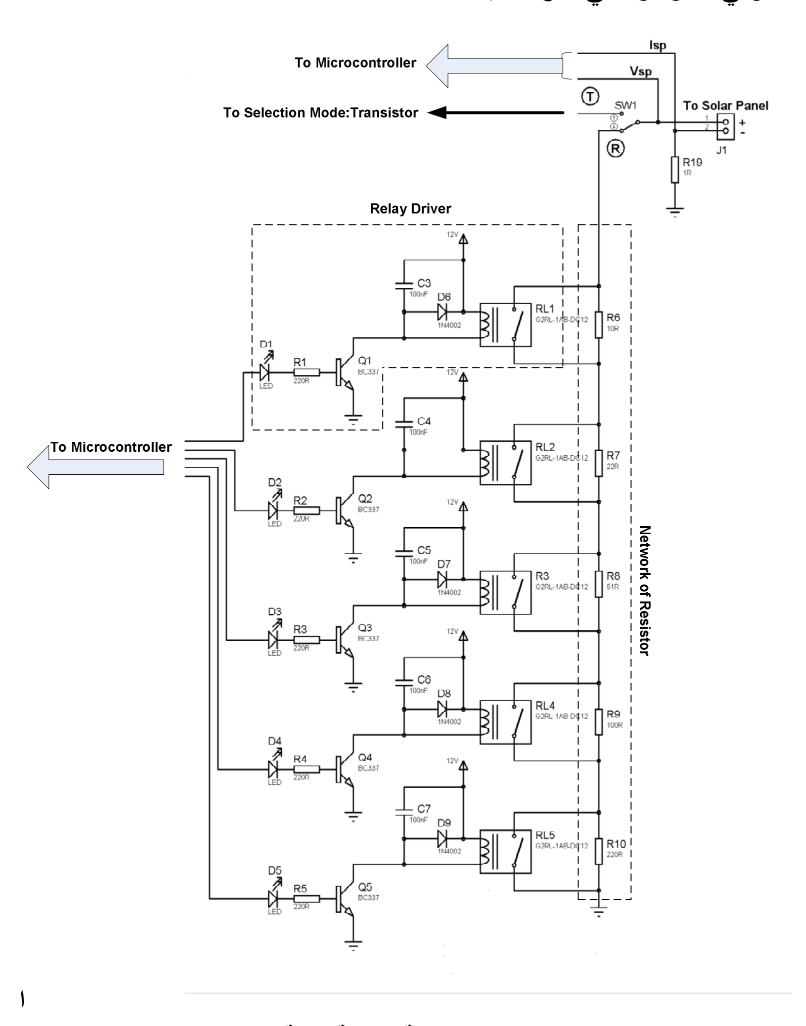


الشكل(4-23)المخطط التدفقي لخوارزمية عمل شبكة المقاومات في النمط الآلي والنمط اليدوي

3-8-4 شبكة المقاومات:Network of resistors

اخترنا شبكة المقاومات السلمية وفق منطق العد الثنائي، كطريقة ثانية في رسم المنحني (I-V) للوح الشمسي، حيث تم اختيار خمس مقاومات ذات قيم مختلفة، كل مقاومة موصولة الى زاجلة مغناطيسية والتي يتم التحكم في فتحها أوإغلاقها باستخدام المتحكم المصغر عبر دارة قيادة خاصة لقيادة الزاجلة

المغناطيسية Relay Driver، وبالتالي تصبح لدينا (2^5=32) حالة تعبر عن 32 قيمة متغيرة للحمل الأومي يوجد مقابلها 32 قيمة لكل من الجهد والتيار يمكن ملء جدول بهذه القيم ورسم المنحني يدوياً.
الدارة العملية مبينة في الشكل(4−24) حيث توصل دخل دارة القيادة الى المتحكم المصغر، فعندما تأتي القيمة الثنائية (1) على دخل دارة القيادة تغلق الزاجلة المغناطيسية وبالتالي تقصر المقاومة الموصولة معها، وتأكيداً لذلك يضيء الليد الموجود في دارة القيادة، وعندما تأتي القيمة الثنائية (0) على دخل دارة القيادة تفتح الزاجلة المغناطيسية وبالتالي توصل المقاومة الموصولة معها، وتأكيداً لذلك لا يضيء المتصل الثنائي الضوئي الموجود في دارة القيادة.

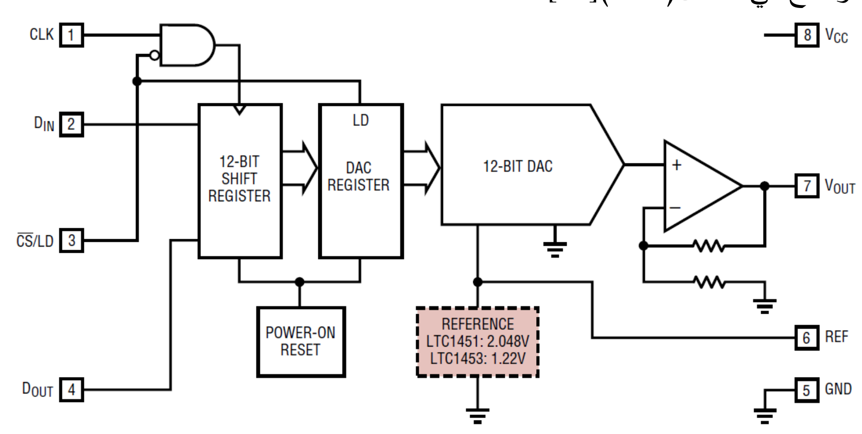


لشكل(4-24) الدارة العملية لطريقة شبكة المقاومات

4-8-4 المبدل الرقمي التشابهيDAC من النوع Digital-to-Analog Conversion:LTC1451

وهو بدقة 12 خانة ثنائية، يستقبل المعطيات الرقمية بشكل تسلسلي عبر المدخل يتم ارسال المعطيات بشكل تسلسلي عبر المدخل D_{IN} وذلك من أجل كل نبضة ساعة مطبقة على القطب CLK ويعطي في خرجه معطيات تشابهية عبر القطب V_{OUT} أما المدخل $\overline{CS}$ فهو لتفعيل المبدلDAC ،.والقطب V_{REF}

هو لجهد الخرج المرجعي الذي يمكن يعطي 2.048V، أما الجهد المرجعي اللازم لعملية التحويل الرقمي التشابهي والتي تؤخذ داخلياً، فإن قيمتها في هذا المحول تساوي 4.096V، كما هو مبين في المخطط الصندوقي الموضح في الشكل(4-25)[28].



الشكل (4-25) المخطط الصندوقي للمبدل الرقمي التشابهي DAC من النوع LTC1451

5-8-4 دارة قيادة الترانزيستور MOSFET: Transistor Drivering Circuit

من الملاحظ وجود دارة Driver عند العمل في نمط الترانزيستور ووظيفتها هي قيادة الترانزيستور MOSFET من خلال تحديد جهد البوابة من القيمة 3.55V وحتى القيمة 5.02V لكي يعمل الترانزيستور قريباً من منطقة الفتح عند القطع مروراً بالمنطقة الأومية وأخيراً في منطقة الإشباع.

سوف يتم أخذ العينات إبتداءً من القيمة الرقمية N_{min}=400 وانتهاءً بالقيمة الرقمية N_{max}=1600 بمعدل خطوة العدK=4، وبالتالي عدد العينات الذي يعطى بالعلاقة:

$$N_{sample} = \frac{N_{\max} - N_{\min}}{K} \tag{4- 1}$$

بالتعويض

$$N_{sample} = \frac{1600-400}{4} = 300 \quad Samples$$

و من العلاقة:

$$V_{DAC} = \frac{N.V_{ref}}{2^n} \tag{4- 2}$$

بالتعويض

$$V_{DAC} = \frac{4.096N}{2^{12}} = \frac{4.096N}{4096} = 0.001N$$

$$V_{DAC_{\min}} = 400 \times 0.001 = 0.4 \ \text{Volt}$$

$$V_{DAC_{\max}} = 1600 \times 0.001 = 1.6 \ \text{Volt}$$

ولدينا العلاقة:

$$\text{V}_{\text{Node}} = \frac{\text{V}_{\text{DAC}} + \text{V}_{\text{offset}}}{2} \tag{4- 3}$$

وبما أن جهد الإنزياح V_{offset}=2.5 Volt فإن:

$$V_{Node_{min}} = \frac{2.5+0.4}{2} = \frac{2.9}{2} = 1.45 \text{ Volt}$$
$$V_{Node_{max}} = \frac{2.5+1.6}{2} = \frac{4.1}{2} = 2.05 \text{ Volt}$$

ولدينا أيضاًالعلاقة:

$$V_{GS} = G.V_{node} \quad (4\text{ -}4)$$

حيث G ربح المضخم العملياتي و يعطى بالعلاقة التالية :

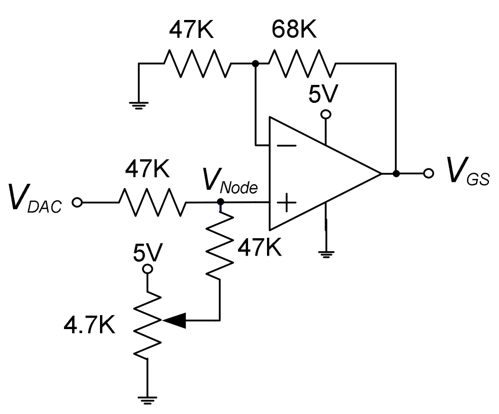
$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (5\text{ -}4)$$

بالتعويض

$$G = 1 + \frac{68}{47} = 2.45$$

وبالتالي فإن جهد البوابة يتراوح بين القيمتين :

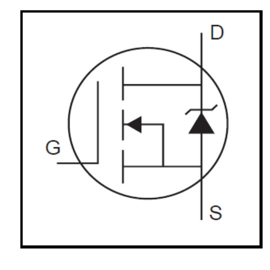
$$V_{GS_{min}} = 2.45 \times 1.45 = 3.55 \text{ Volt}$$
$$V_{GS_{min}} = 2.45 \times 2.05 = 5.02 \text{ Volt}$$



الشكل (4-26) دارة قيادة الترانزيستورMOSFET

6-8-4 الترانزيستورالمستخدم The using transistor:IRFP260N

وهو ترانزيستور استطاعي من النوع MOSFET-E(n)، ويتمتع بالمزايا التالية[29]:



V_{DSS} = 200V
$R_{DS(on)}$ = 0.04Ω
I_D = 50A

- مصنوع بتقنية متقدمة
- درجة حرارة العمل حتى 175°C
- تبديل سريع
- نسبة تغيرات الجهد مع الزمن dv/dt ديناميكية
- سهل القيادة
- يقبل الوصل على التوازي
- جهد العتبة للبوابة VGS(th) = 2 - 4 V

7-8-4 دارات الملائمة لقياس الجهد والتيار:
Conditioner circuit for Voltage and Current measurement

تُستخدم أنظمة تحصيل المعطيات لدراسة تغيرات ظاهرة ما مع الزمن بهدف تحليلها ومعالجتها إما للتحكم والوصول إلى الحالة الأمثلية إذا كان مضافاً إليها نظام تحكم كما في حالتنا المدروسة أو لوصف المنتج أو الحالة المدروسة، وبناء على ذلك يمكن تعريف نظام تحصيل المعطيات وفق التالي:

نظام تحصيل المعطيات: هو نظام قياس إلكتروني متخصص بقياس المقادير الكهربائية أوالفيزيائية (معطيات القياس) من الوسط الخارجي وتخزينها بشكل رقمي من أجل معالجتها من قبل المتحكم أو الحاسب.

يتم تحصيل المعطيات بتطبيق الإشارات الكهربائية الناتجة عن اللوح الشمسي على دارات الملاءمة لكي يتم معالجتها(تضخيم، تخميد) للشكل المناسب للقياس بوساطة المبدل التشابهي الرقميADC حيث يأخذ كل إشارة قياس على حده عن طريق الناخب التشابهي الموجود على دخله ويحولها إلى الشكل الرقمي ويخزنها مؤقتاً ضمن متحول ذاكرة ومن ثم يأخذ إشارة القياس التالية ويحولها ويخزنها وهكذا تكرر عملية القياس هذه حتى يحول جميع المعطيات ويتم نقلها إلى الحاسب

وبالتالي فإن دارات الملائمة لقياس الجهد V_{SP} والتيار I_{SP}للوح الشمسي تتم من خلال دارتي مقسم الجهد Voltage Attenuator (لإن جهد المتحكم المصغر لايتجاوز 5V بينما يمكن ان يكون جهد اللوح اكبر من 5V بكثير)، كما في الشكل (4−27)، ومضخم التيار Current Amplifier (حتى يتمكن المتحكم من قراءة التيار)، كما في الشكل (4−28).

ويتم حساب التيار I_{SP}من العلاقة التالية:

$$I_{SP} = \frac{V_o}{G.R_{sh}} \qquad (6\text{-}4)$$

ولدينا:

$$V_o = \frac{N \cdot V_{ref}}{2^n - 1} \qquad (7\text{-}4)$$

وبتعويض العلاقة (3-24) في العلاقة(3-23) ينتج:

$$I_{SP} = \frac{N}{2^n - 1} . \frac{V_{ref}}{G.R_{sh}} \qquad (8\text{-}4)$$

V_{ref}: الجهد المرجعي للمبدلADC للمتحكم المصغر وقيمته: V_{ref}.=5V

V_o: جهد خرج المضخم الذي يعبّر عن قيمة التيار المار.

R_{sh}: هي مقاومة التفريغ لقياس التيار.وقيمتها:R_{sh} =1Ω.

G: عامل ربح المضخم.وهي تساوي القيمة:G=11.85.

n : هي دقة المبدل التشابهي الرقمي ADC [10 bits].

I_{SP} : تيار اللوح الشمسي.

N : هو القيمة الرقمية المكافئة للتيار على خرج المبدلADC.

بالتعويض:

$$I_{SP} = \frac{N}{1024} \cdot \frac{5}{11.85} = \frac{N}{2396.16} \quad Amp$$

أما حساب الجهد V_{SP}:

$$V_{SP} = K_V . V_{in} \qquad (9\ -4)$$

وبما أن ربح المضخم يساوي الواحد فإن: $V_o = V_{in}$ وبالتعويض في العلاقة (4-9) يصبح لدينا:

$$V_{SP} = K_V . V_o \qquad (10\ -4)$$

ولدينا العلاقة:

$$V_o = \frac{N}{2^n - 1} . V_{ref} \qquad (11\ -4)$$

وبتعويض العلاقة (4-11) في العلاقة(4-10) ينتج:

$$V_{SP} = \frac{N}{2^n - 1} . K_V . V_{ref} \qquad (12\ -4)$$

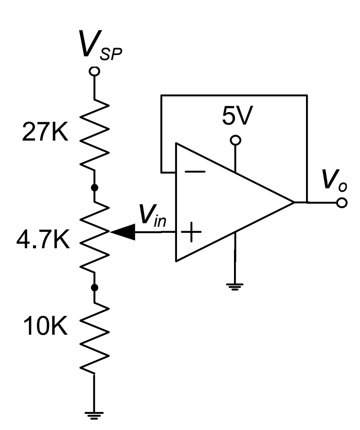
V_o: جهد خرج المضخم.

K_V: معامل تقسيم الجهد، وقيمته: $K_V = 3.485$

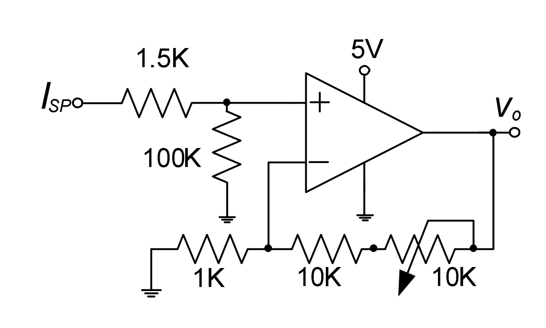
V_{in}: جهد دخل المضخم.

وبالتعويض:

$$V_{SP} = \frac{N}{1024} \times 3.485 \times 5 = \frac{N}{58.766} \quad Volt$$



الشكل (4-27) دارة مقسم الجهد



الشكل (4-28) دارة مضخم التيار

4-8-8 دارة الربط مع الحاسب:PC Interface Circuit

قمنا باستخدام المنفذ التسلسليCOM PORT لربط المنظومة مع الحاسب وذلك لسهولة التعامل مع هذا المنفذ، بالإضافة اننا لسنا بحاجة الى سرعة كبيرة لنقل العينات، فعند استخدام نمط العمل الترانزيستور كحمل، يكفي تهيئة المنفذ التسلسلي Serial Port (UART) للمتحكم المصغر لارسال معطيات الجهد والتيار الى الحاسب PC، أما عند استخدام نمط العمل شبكة المقاومات كحمل، فإن المتحكم المصغر يستقبل اشارة تحكم من البرنامج الموجود على الحاسب ليتم اختيار الريليات التي تعمل وبالتالي اختيار قيمة المقاومة التي ستعمل كحمل، ومن ثم ارسال معطيات الجهد والتيار الى الحاسب PC، وتتم عملية الربط عن طريق دارة الملاءمة المنطقية MAX232 والمنفذ COM PORT للمنظومة الذي يتم وصله مع المنفذ التسلسلي COM PORT للحاسب وفق بروتوكول الإتصالRS-232

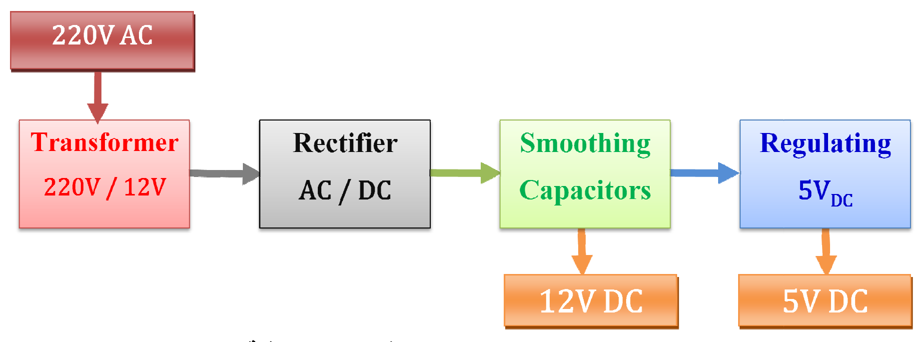
4-8-9 ربط المنظومة مع وحدات الدخل والخرج:
Linking the system with input and output units

تتمثل وحدات الدخل والخرج المربوطة مع المنظومة بثلاث مفاتيح لحظية :1،2،3 وشاشة الاظهار الكريستاليةLCD، ممايمكننا من تشغيل وتهيئة وإعداد المنظومة الإلكترونية.

4-8-10 تصميم وحدة التغذية المستمرة: Design of Power Supply Circuit

يحتاج عمل المنظومة الإلكترونية الى نوعين من التغذية أحداهما +5V والأخر +12V الذي يغذي المضخم الذي استخدمناه في دارة Driver وكذلك لعمل الريليات،بينما بقية العناصر فيتم تغذيتها بـ+5V.

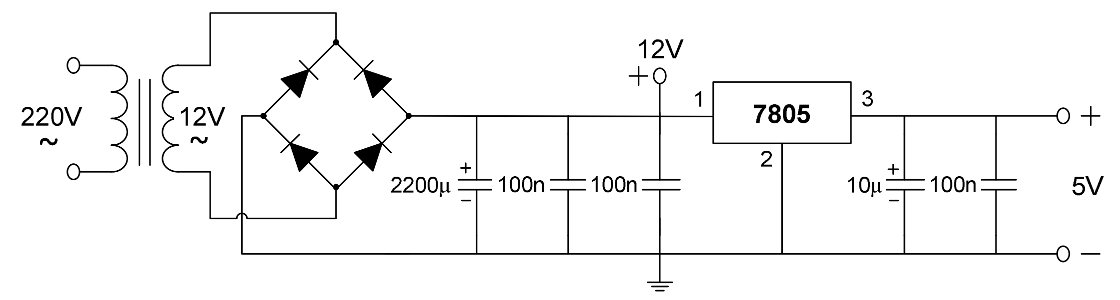
المخطط الصندوقي لدارة التغذية مبين في الشكل(4-29) حيث يتألف من المحولة 220V/12V والمقوم AC/DC ثم من مكثفات الترشيح والتنعيم ونأخذ منه جهد مستمر قدره +12V وأخيراً من منظم الجهد +5V ونأخذ منه جهد مستمر قدره+5V.



الشكل (4-29)المخطط الصندوقي لدارة التغذية

لقد تم استخدام المكثفات 2200µF ,100nF,100nF من أجل عملية الترشيح والتنعيم وبالتالي الحصول على الجهد المستمر 12V ومن خلال إضافة منظم الجهد 7805 يتم الحصول على الجهد المستمر 5V.

لقد تم إضافة مكثفات 100nF,10µF لامتصاص إشارات الضجيج القادمة من جميع أنحاء الدارة والناشئة أيضاً عن اشتراك عدة دارات بمنبع التغذية نفسه، حسب الدارة المبينة بالشكل(4−30).

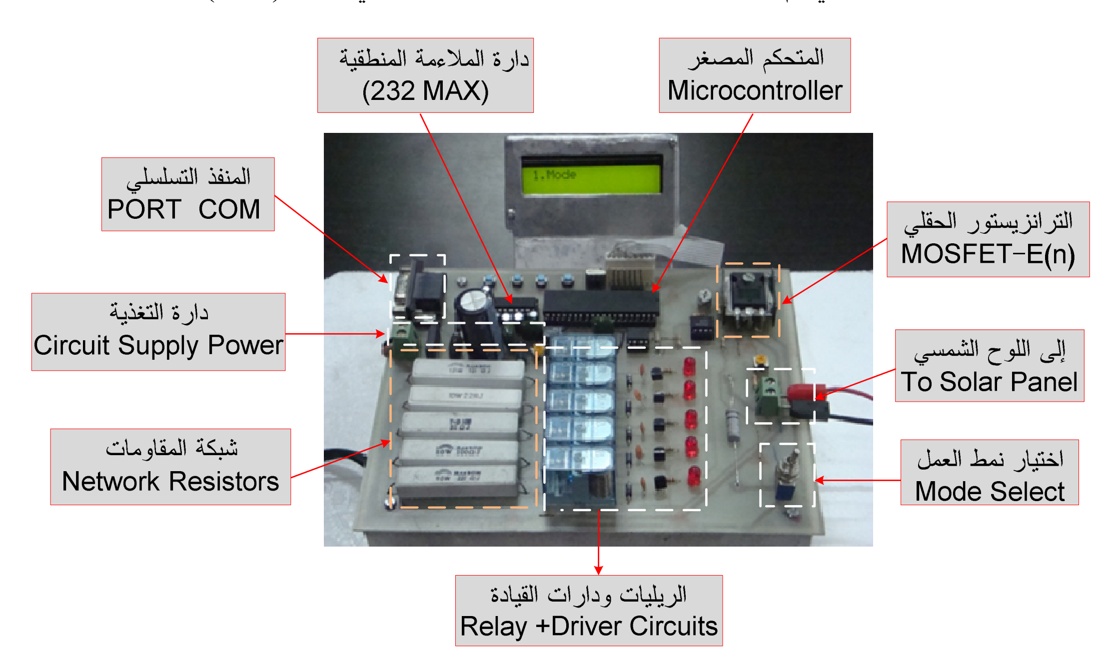


الشكل (4-30) دارة التغذية للمنظومة الإلكترونية

9-4 مخطط عمل الدارة الإلكترونية:Planned electronic circuit operation

الشكل (4-31) مخطط عمل الدارة الإلكترونية

صورة الدارة الإلكترونية التي تم تنفيذها عملياً ومكوناتهاالأساسية مبين في الشكل(4-32).



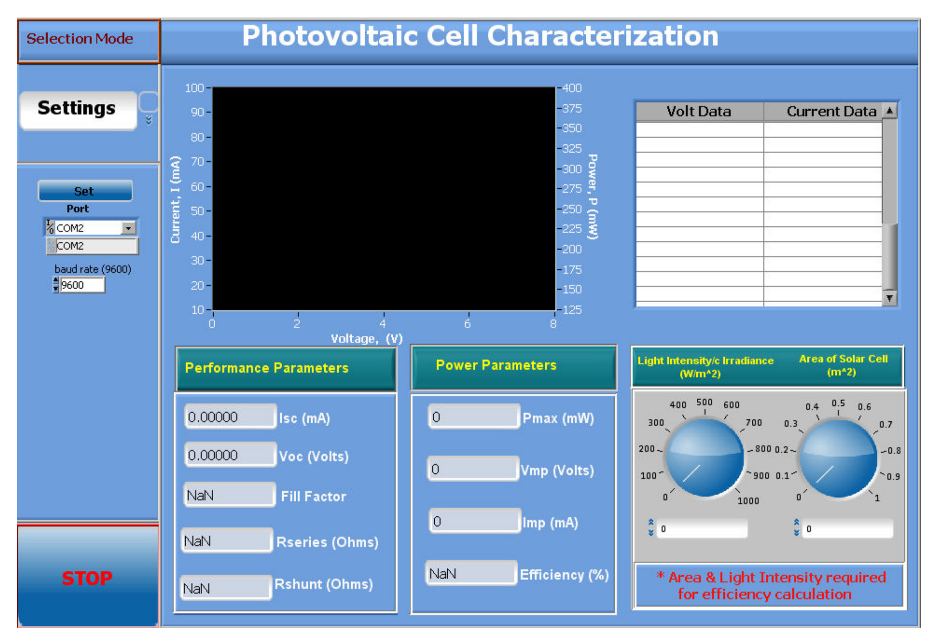
الشكل(4-32) الدارة الإلكترونية التي تم تنفيذها عملياً

4-10 القسم البرمجي للمنظومة:Software System

لنعرض القسم البرمجي (Software) لتشغيل وإعداد المنظومة الإلكترونية الذي قمنا بتصميمها على الحاسب، حيث تم استخدام البرنامج LabVIEW10 (والتي يعد بيئة التطوير الرسومية الرائدة في المجالات العلمية والهندسية) في تصميم القسم البرمجي لاستقبال القيم الرقمية لمعطيات الجهد والتيار للوح الشمسي وتحويلها الى الشكل التشابهي ومن ثم رسم المنحني(I-V) والمنحني(P-V) له في نمطي العمل الترانزيستور وشبكة المقاومات، واستنتاج المقادير المميزة للوح الشمسي Parameters، مع امكانية رسم أكثر من منحني بنفس الوقت للمقارنة وذلك بقراءة المعطيات التي سبق وتم تخزينها على القرص الصلب Hard-Disk، وقمنا في سبيل ذلك ببناء الواجهات المرئية لهذا البرنامج بحيث يتيح للمستخدم اجراء عملية اختبار اللوح الشمسي والحصول على المقادير المميزة له وذلك من خلال واجهات مختلفة مخصصة للترانزيستور وشبكة المقاومات وتحليل الاشارات.

4-10-1 نافذة اختيار نمط العمل Selection Mode: النافذة Settings

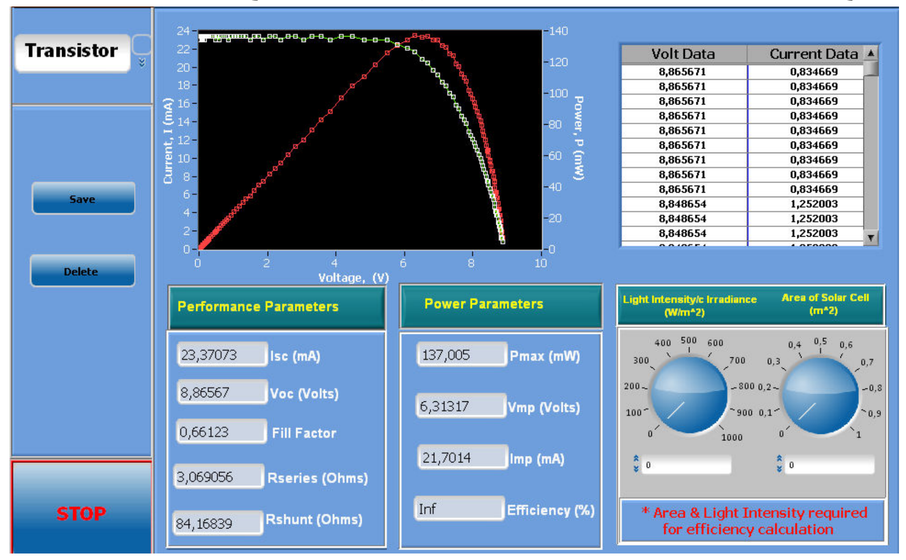
عند فتح البرنامج تظهر لنا الواجهة التالية كما يبدو في الشكل(4−33) حيث تظهر لنا في الزاوية العليا اليسرى، نافذة اختيار نمط العمل Selection Mode ضمن قائمة منسدلة فيها الخيارات التالية:Transistor، Resistor،Analysis، Settings ففي البداية يتم إعداد بارامترات الإختبار من خلال النافذة Settings حيث يتم أولاً التأكد من توافق المنفذ التسلسلي للحاسب مع المنفذ التسلسلي للمنظومة وضبط معدل الإرسال Baud Rate بما يتوافق مع المتحكم المصغر وقد تم اختيار قيمته 9600 .



الشكل(4–33)الواجهة المرئية للبرنامج: النافذة Settings

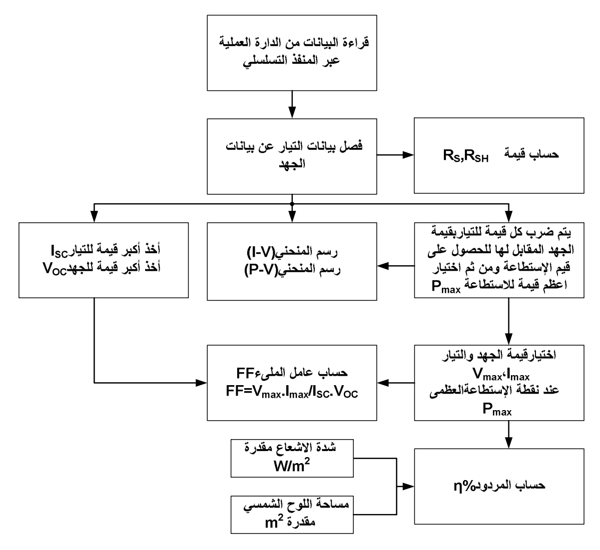
4-10-2 نافذة اختيار نمط العمل Selection Mode: النافذة Transistor

والشكل (4–34) يظهر عند اختيارنا نمط العمل Transistor حيث يظهر لنا نافذة لرسم منحني(I-V) ومنحني(P-V) معاً، وعلى يمينه مصفوفتين لتخزين معطيات الجهد والتيار، ثم اسفل نافذة الرسم تبدو نوافذ لحساب القيم المميزة للوح الشمسي:I_{SC}،V_{OC}،FF،R_S،R_{SH}،P_{max}،V_{max}،I_{max} وفي حال ادخال قيم شدة الاشعاع الشمسي،ومساحة اللوح الشمسي فإنه يستطيع حساب قيمة المردود أيضاً، وعند الإنتهاء من إظهار النتائج نقوم بتخزين المعلومات السابقة عن طريق الزر Save في المكان الذي نريده، وبعد ذلك نقوم بمسح جميع المعطيات عن طريق الزر Delet ويتم توقيف البرنامج عن طريق الزر Stop.



الشكل(4–34)الواجهة المرئية للبرنامج: النافذةTransistor

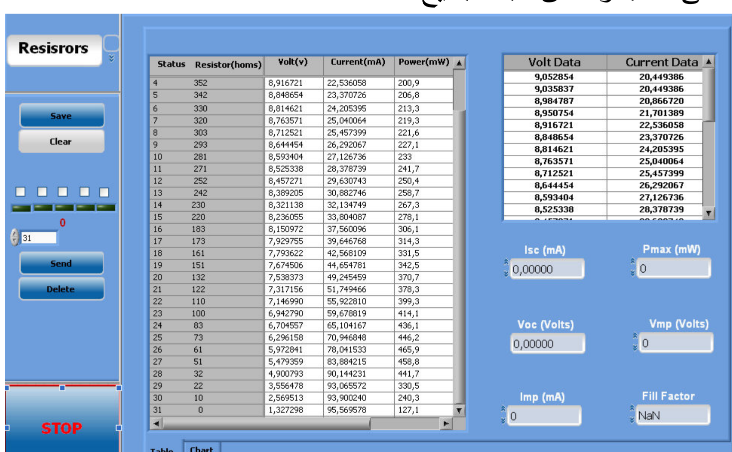
ان المخطط التدفقي لنمط العمل في حالة الترانزيستور (الطريقة الآلية) مبين في الشكل(4−35)



الشكل(4−35) المخطط التدفقي لنمط العمل Transistor

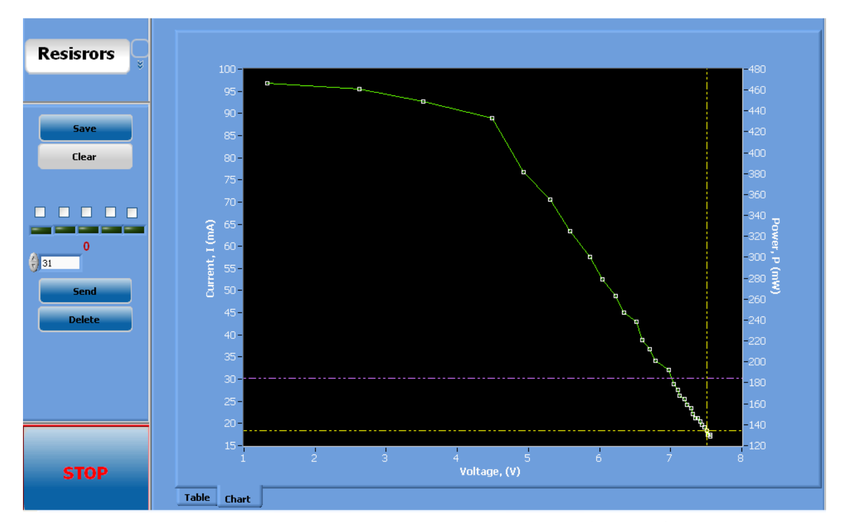
4-10-3 نافذة اختيار نمط العمل Selection Mode: النافذة Resistor

أما عند اختيارنا نمط العمل Resistor، تظهر لنا الواجهة التالية كما يبدو في الشكل(4−36) وهذا يتوافق وعمل المنظومة لرسم منحني(I-V) يدوياً باستخدام شبكة المقاومات(32 حالة) حيث يتم اختيار هذه الحالات عن طريق تفعيل الخانات البيضاء بالضغط على الأزرار الخضراء الموجودة ضمن لوحة المفاتيح Check-Box ويظهر الرقم اسفل منها متوافقاً مع الاختيار المطلوب، مثلاً: عندئذ يتم ارسال هذه الحالة عن طريق المنفذ التسلسلي الى الدارة العملية Hardware حيث يعطي المتحكم اوامره باغلاق الريليات 5،3،1 وبالتالي تكون قيمة المقاومة الناتجة هي 122 Ω ويتم ارسال قيمة الجهد والتيار المقابلة لقيمة تلك المقاومة الى البرنامج ليتم قرائتهما وادخالها يدوياً الى الجدول الموجود على واجهة البرنامج وهكذا يتم ملىء الجدول من أجل جميع الحالات.



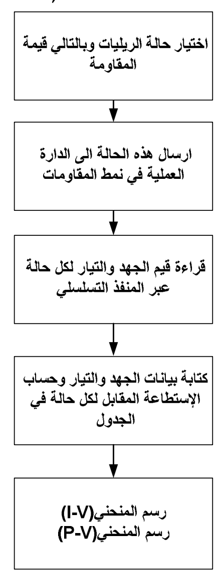
الشكل(4−36)الواجهة المرئية للبرنامج: النافذةResistor (كتابة المعطيات في الجدولTable)

ولرسم المنحني ننتقل الى النافذة Chart كما في الشكل(4−37) ثم نفعل الزر Draw فيتم رسم المنحني(I-V)



الشكل(4−37)الواجهة المرئية للبرنامج: النافذةResistor (رسم المنحنيات في النافذة Chart)

ان المخطط التدفقي لنمط العمل في حالة شبكة المقاومات (الطريقة اليدوية) مبين في الشكل(4−38).

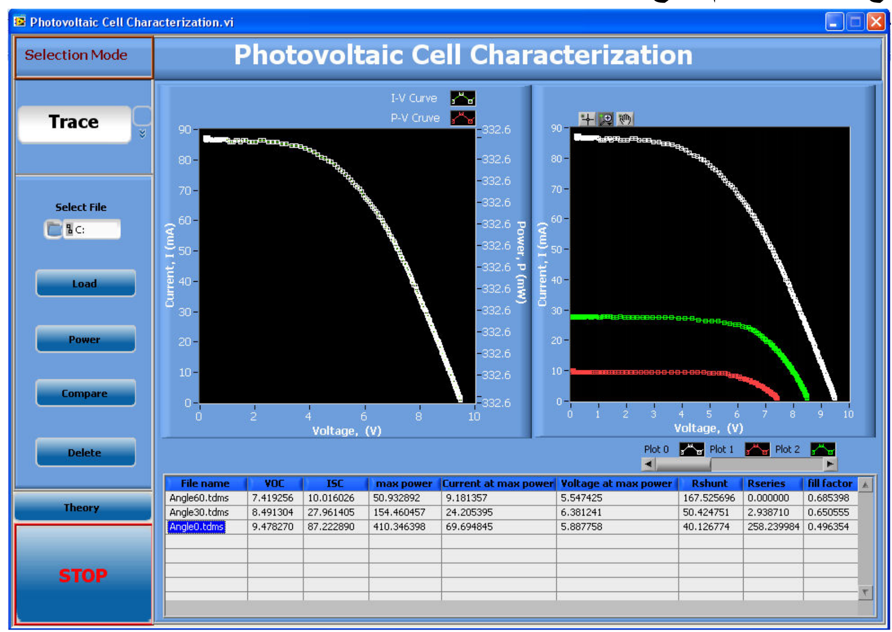


الشكل(4−38) المخطط التدفقي لنمط العمل Resistor

4-10-4 نافذة اختيار نمط العمل Selection Mode: النافذة Trace

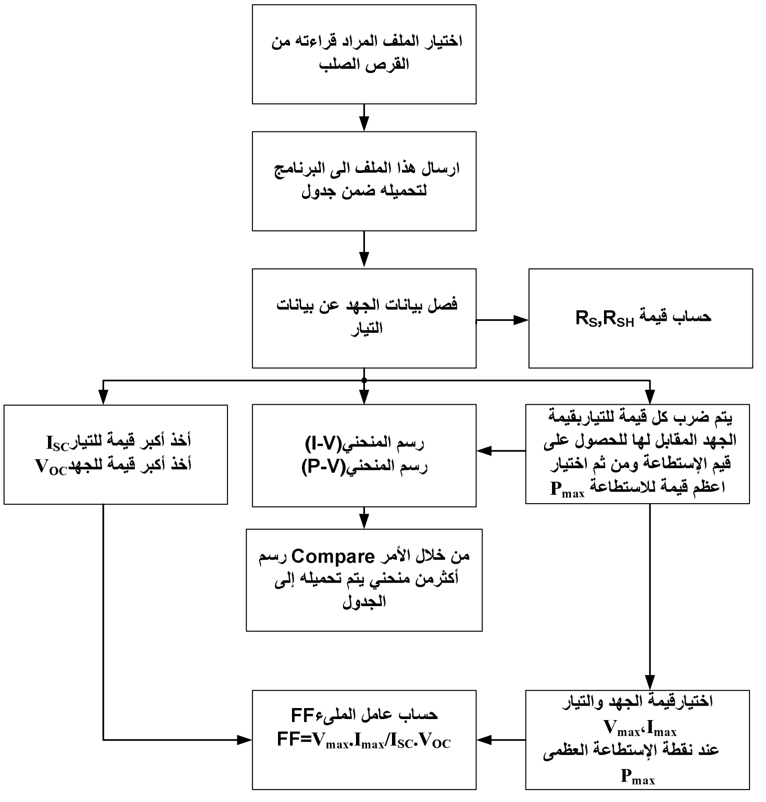
عند اختيارنا نمط العمل Trace، تظهر لنا الواجهة التالية كما يبدو في الشكل(4−39)، ويستخدم لقراءة المعطيات التي سبق وتم تخزينها على الهارد مع امكانية رسم أكثر من منحني للمقارنة أو ما شابه، لذلك يتم احضار الملف المطلوب أولاً عن طريق النافذة Select File ثم نقوم بتحميلها الى البرنامج عن طريق الزر Load فتظهر جميع المعطيات المتعلقة بهذا الملف من اسم الملف الى جميع المقادير المميزة التي تم حسابها مسبقاً، وبالضغط على اسم الملف يظهر المنحني(I-V)، وبالضغط على الزر Power يظهر المنحني(P-V) ايضاً، وبالضغط على الزر Compare يتم رسم نفس المنحني على نافذة الرسم الثانية

المخصصة لرسم أكثر من منحني معاً.وهكذا من اجل تحميل أكثر من ملف نقوم بنفس الإجراء ويتم رسم المنحنيات مع بعضها، و يتم مسح الملفات جميعاً عن طريق الزر Delete.



الشكل(4–39)الواجهة المرئية للبرنامج: النافذة Trace

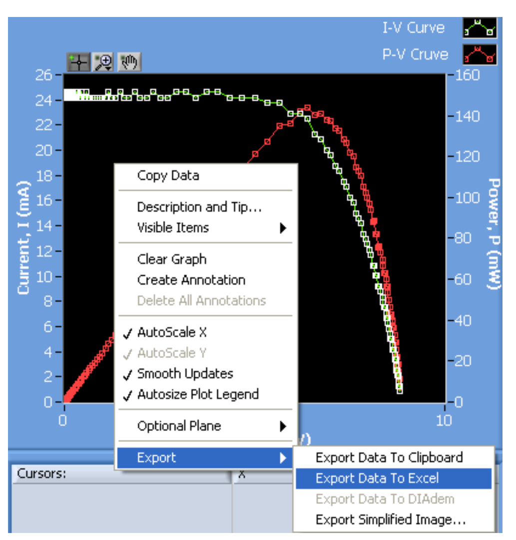
ان المخطط التدفقي لنمط العمل Trace مبين في الشكل(4–40).



الشكل(4–40) المخطط التدفقي لنمط العمل Trace

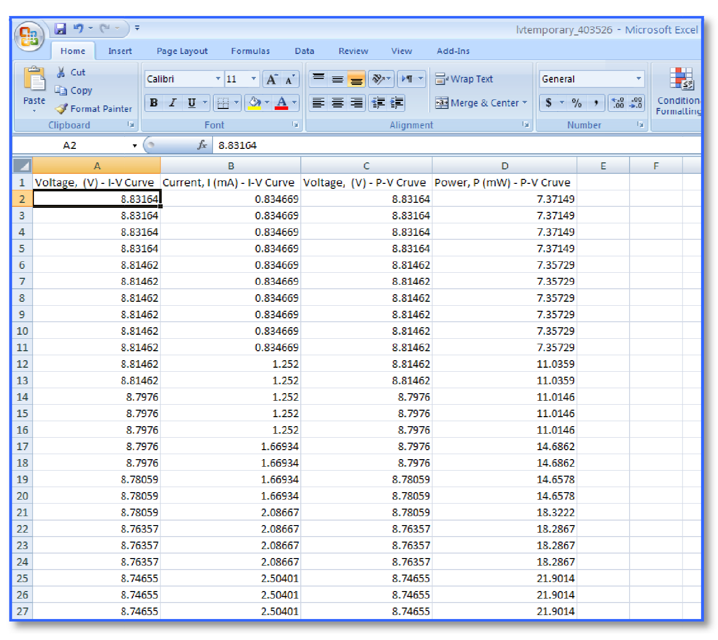
5-10-4 تصدير المعطيات من البرنامج: Export Data

إن استخدام البرنامج LabVIEW10 في تصميم القسم البرمجي للمنظومة الإلكترونية، يتيح امكانية تصدير ملف أكسل للمعطيات التي تم قراءتها، وذلك بالنقر بالزر الأيمن على الشكل المرسوم على مسار الإشارة، واختيار نوعية التصدير، وهو هنا ملف أكسل كما في الشكل(4−41).



الشكل(4−41) كيفية تصدير المعطيات الى ملف أكسل

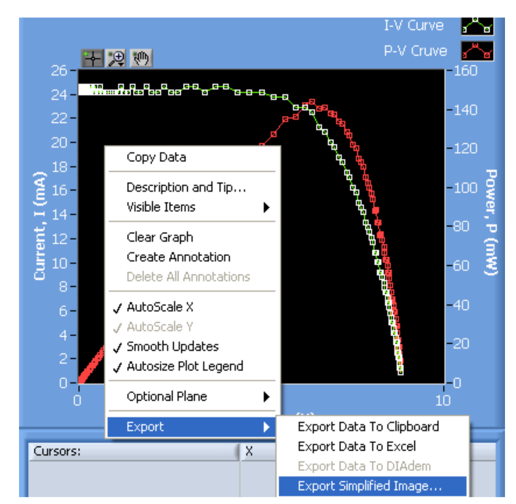
الشكل (4−42) يبين صورة عن جزء من ملف أكسل للمعطيات التي تم تحصيلها من اللوح الشمسي.



	A	B	C	D
1	Voltage, (V) - I-V Curve	Current, I (mA) - I-V Curve	Voltage, (V) - P-V Cruve	Power, P (mW) - P-V Cruve
2	8.83164	0.834669	8.83164	7.37149
3	8.83164	0.834669	8.83164	7.37149
4	8.83164	0.834669	8.83164	7.37149
5	8.83164	0.834669	8.83164	7.37149
6	8.81462	0.834669	8.81462	7.35729
7	8.81462	0.834669	8.81462	7.35729
8	8.81462	0.834669	8.81462	7.35729
9	8.81462	0.834669	8.81462	7.35729
10	8.81462	0.834669	8.81462	7.35729
11	8.81462	0.834669	8.81462	7.35729
12	8.81462	1.252	8.81462	11.0359
13	8.81462	1.252	8.81462	11.0359
14	8.7976	1.252	8.7976	11.0146
15	8.7976	1.252	8.7976	11.0146
16	8.7976	1.252	8.7976	11.0146
17	8.7976	1.66934	8.7976	14.6862
18	8.7976	1.66934	8.7976	14.6862
19	8.78059	1.66934	8.78059	14.6578
20	8.78059	1.66934	8.78059	14.6578
21	8.78059	2.08667	8.78059	18.3222
22	8.76357	2.08667	8.76357	18.2867
23	8.76357	2.08667	8.76357	18.2867
24	8.76357	2.08667	8.76357	18.2867
25	8.74655	2.50401	8.74655	21.9014
26	8.74655	2.50401	8.74655	21.9014
27	8.74655	2.50401	8.74655	21.9014

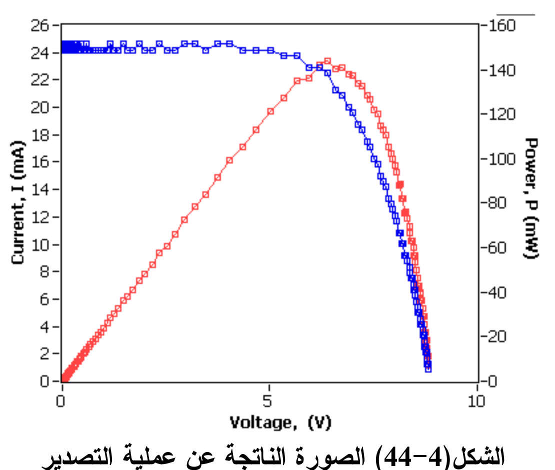
الشكل(4−42) جزء من ملف أكسل للمعطيات

كما يمكننا تصدير صورة بسيطة ذو امتداد (.bmp)عن المنحني المرسوم وذلك بالنقر بالزر الأيمن على الشكل المرسوم على مسار الإشارة واختيار نوعية التصدير وهو هنا صورة بسيطة كمافي الشكل(4−43)



الشكل(4-43) كيفية تصدير صورة بسيطة عن المنحني المرسوم

الصورة الناتجة عن عملية التصدير مبينة في الشكل(4-44)، حيث سنستخدمها عند اظهار وتحليل النتائج.

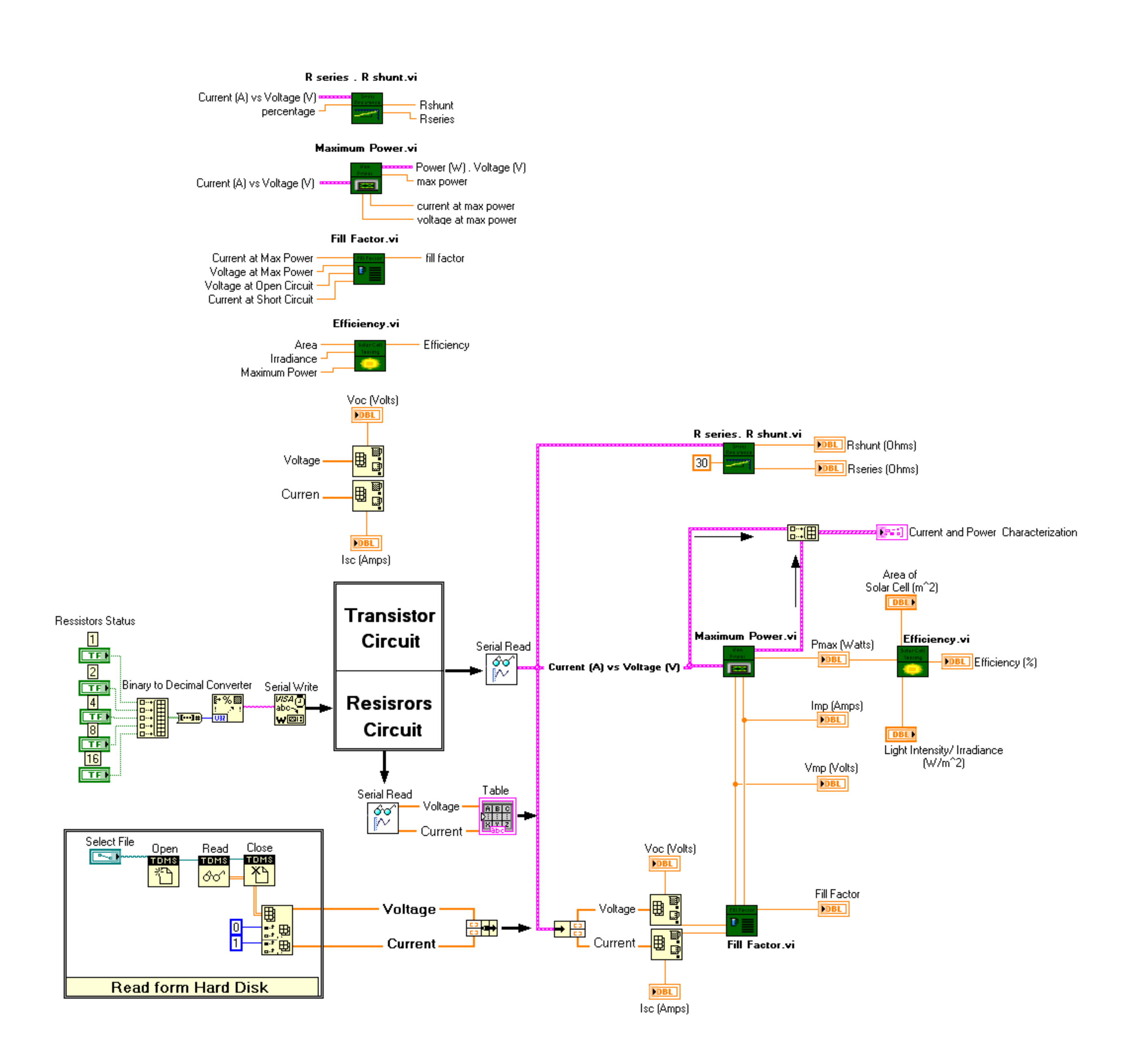


الشكل(4-44) الصورة الناتجة عن عملية التصدير

4-10-6 خوارزمية عمل القسم البرمجي: Algorithm of the Software System

يدعى البرنامج المكتوب بلغة LabVIEW بـــ VI وهو اختصار لكلمة Virtual Instrumen يمكن ترجمتها بالألة الأفتراضية وهي ملفات ذات امتداد vi، وما يمتاز به برنامج LabVIEW أنها تفتح نافذتين، الأولى: نافذة اللوحة الأمامية Front Panel: وتعتبر واجهة البرنامج، وهي اللوحة التي يتخاطب معها المستخدم وهي مماثلة لــ User Interface في لغات البرمجة الأخرى وتحتوي هذه اللوحة على كافة المتحكمات Controls وهي الأوامر التي يدخلها المستخدم.وعلى كافة المؤشرات Indicator والتي تظهر نتائج معالجة البيانات، الثانية: المخطط الصندوقي Block Diagram: وهي اللوحة التي تحتوي على شيفرة البرنامج الذى يتم تصميمه بالرسم وهذه الشيفرة مكونة من أيقونات يتم الربط بينها بوساطة أسلاك. وكما هو مبين في الشكل (4-45) تظهر لنا الايقونات التي تحسب R_{SH}، R_S، P_{max}، V_{max}

I_{max}، FF، η، V_{OC}، I_{SC} بالاضافة إلى شيفرة البرنامج الذي قمنا بتصميمه لعمل المنظومة الإلكترونية في نمطي العمل الترانزيستور و المقاومات والتي تمثل خوارزمية عمل القسم البرمجي[30].



الشكل(4-45) المخطط التدفقي للقسم البرمجي للمنظومة

11-4 المصدر الضوئي:Lighting Sourse

استخدمنا في البداية مصباح هالوجين ذات العاكس وذو حزمة ضيقة spot باستطاعة 50W كما في الشكل(4-46) فلم تكن اضاءتها كافية،



الشكل(4-46) مصباح هالوجين ذات العاكس و ذو حزمة ضيقة spot باستطاعة50W

وبعد ذلك استخدمنا مصباح الهالوجين ذات النهايتين باستطاعة 500W دون عاكس خلفي،كما في الشكل (4-47) ولكنها كانت دون المطلوب لتشتت الإضاءة في كافة الاتجاهات.



الشكل(4-47) مصباح الهالوجين ذات النهايتين باستطاعة 500W دون عاكس خلفي

ثم استخدمنا مصباح الهالوجين ذات النهايتين 500W مع عاكس خلفي، الشكل(4-48)، وهو مزود بمفتاح للتحكم بشدة الإضاءة ومزود بذراع قابل للتحرك بزوايا مختلفة، فكانت الإضاءة مركزة على اللوح مع امكانية التحكم بشدة الإضاءة وامكانية توجيه الإضاءة بزاوية معينة.



الشكل(4-48) مصباح الهالوجين ذات النهايتين 500W مع عاكس خلفي

1-11-4 مصباح الهالوجين: Halogen

مصباح الهالوجين هو نوع من المصابيح المتوهجة التي يتم ابرام سلك من التنغستن في ظرف مضغوط يتسم بالشفافية مليئ بالغاز الخامل والهالوجين.

ان مصابيح الهالوجين السائدة تتميز بمزايا عديدة كالسطوع العالي، بدء التشغيل الفوري، سهولة الصيانة و الاستبدال.

الهالوجينات: هى سلسلة كيميائية، وتتكون من العناصر الموجودة فى المجموعة 17 من الجدول الدوري وهى المكونة من: الأستاتين، ورمزه الكيميائي (At)، والفلور (F)، والكلور (Cl)، والبروم (Br)، واليود (I)، وهي لافلزات، والعديد من الأملاح في البحر هي مركبات من الهالوجين مع الفلزات، وكلمة هالوجين اللاتينية تعني منتج الملح، وملح الطعام (NaCl)، هو أشهر هذه المركبات.

جزيئات هذه العناصر ثنائية الذرة فى حالتها الطبيعية، وتحتاج إلى إلكترون واحد لملئ غلافها الإلكتروني الأخير، ولذا فإنها تميل لتكوين أيون سالب أحادى الشحنة. وهذا الأيون السالب يسمى بأيون الهاليد، فالأملاح التى تحتوى الأيونات تسمى هاليدات.

وكان البحث مستمراً على مصدر للإضاءة أكثر ملائمة من ناحية الاضاءة الشديدة والتوزع الطيفي القريب من التوزع الطيفي للشمس وقلة الاصدار الحراري الناتج عن المصباح، فكان البديل هو مصابيح الزينون.

2-11-4 الغــازات النبيلــة: Noble Gases

هي العناصر الكيميائية الموجودة في المجموعة الثامنة عشر من الجدول الدوري، وهذه السلسلة الكيميائية تحتوي العناصر الآتية: الأرجون Ar، الهيليوم He، الكربتون Kr، النيون Ne، الرادون Rn، الزينونXe، بالإضافة إلى عنصر جديد قيد الأبحاث (لم يكتشف بعد) وهو الأنون أوكتيوم وله الرمز المؤقت Uuo.

وخلافًا لمعظم العناصر الغازية، فإن الغازات النبيلة أحادية الذرة، أي توجد في الطبيعة على شكل ذرات منفردة بدلاً من جزيئات من ذرتين أو أكثر.

ويتميز تركيب هذه الغازات بوجود ثمانية إلكترونات في المستوى الخارجي لها باستثناء الهيليوم حيث يحتوى المستوى الخارجي فيه على إلكترونين فقط، وهذا ما يفسر خمول فاعليتها واستقرارها.

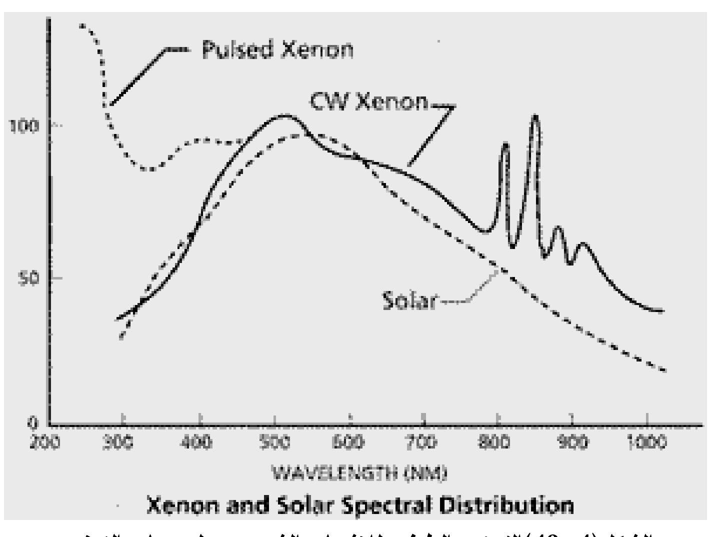
3-11-4 الزينون: Xenon

اكتشف الزينون عالما الكيمياء البريطانيان السير ويليام رامزي وموريس ترافرس عام 1898م عندما كانا يدرسان الهواء السائل، وسمي زينون وتعني باليونانية غريب.

يوجد الزينون بكميات قليلة في الجو (بنسبة 0.0000087%)، ويعتبر أقل الغازات النبيلة في نسبة تواجده في الغلاف الجوي للأرض، كما يوجد في جو المريخ بحدود حوالي 0.08 جزء بالمليون.

4-11-4 تقنية مصابيح الزينون: Xenon Technology

إن مصابيح الكزينون، ويلفظها الأنغلوساكسون "زينون"، كما يسميها الأميركيون مصابيح الإنارة العالية الكثافة HID, high intensity discharge lights، تعتبر جزءاً مهماً من التجهيزات الأساسية أو الإضافية لعدد كبير من السيارات، فلمبات غاز الزينون ذو إضاءة قوية تقارب في سطوعها ضوء الشمس، كما يبين الشكل(4-49)، وتمتاز بشدة تركيزها للضوء الزرقاوي الأقرب الى لون نور الفجر[31].



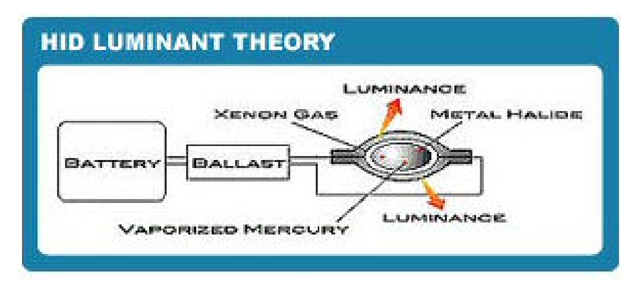
الشكل(4- 49)التوزع الطيفي للاشعاع الشمسي ولمصباح الزينون

وهو ذو كفاءة عالية ويتميز بإضاءتها عن مصباح التنجستن هالوجين بثلاثة أضعاف مع توفير 40% بالطاقة الكهربائية المستهلكة فمصباح الزينون يحتوي على كبسولة زجاجية مضغوط بها غاز الزينون مع خليط من غازات أخرى قابلة للاشتعال، الشكل(4-50).



الشكل(4- 50) مصابيح الزينون

و يحتاج خليط الغازات داخل مصباح الزينون إلى نظام كهربائي خاص فهو يتطلب شحنة كهربائية أولى قوية لإشعاله تفوق 25 كيلو فولت لبرهة قصيرة، الشكل(4-51)، وقد أثبتت تفوقها على لمبات الهالوجين العادية، حيث تعطي هذه المصابيح نورا أقوى، واستهلاكها للطاقة أقل وعمر خدمتها أطول.

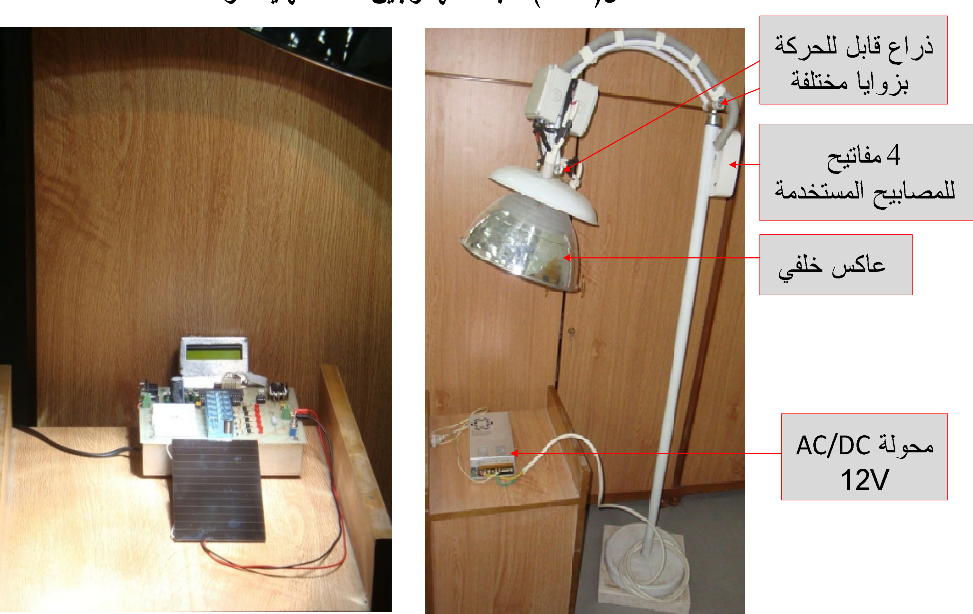


الشكل(4- 51) دارة التغذية لمصباح الزينون

وقد قمنا بتصميم جهاز إضاءة كما في الشكل(4-53)، مزود بذراع قابل للتحرك بزوايا مختلفة، مع وجود عاكس خلفي، يتم فيها الاعتماد على نوعين من الإضاءة (أي لمبات الزينون والهالوجين) فـتم اسـتخدام مصباحين من لمبات الزينون الموجودة في الشكل(4-50) ومصباحين من لمبات الهالوجين ذات النهايـة الواحدة كما في الشكل(4-52) وكل مصباح يتم تشغله بوساطة مفتاح خاص وبالتالي هناك امكانية تشغيل المصابيح الأربعة مجتمعة الشكل(4-53) حيث تم تغذية جهاز الإنارة بجهد مستمر 12V، تـم الحصـول عليه بعد تحويل جهد الشبكة المتناوب220V بوساطة محول AC/DC.



الشكل(4-52) لمبات الهالوجين ذات النهاية الواحدة



الشكل(4- 53) على اليمين :جهاز الإضاءة المخصص للوح الشمسي،على اليسار جهاز الإضاءة في حالة العمل

الفصل الخامس

النتائج العملية والتوصيات وآفاق التطوير المستقبلية

Practical Results and Recommendations and Future Improvements

1-5 النتائج العملية والمناقشة: Practical results and discuses

قمنا بتشغيل كامل المنظومة الإلكترونية (الدارة العملية والبرنامج على الحاسب) وباستخدام إضاءات مختلفة، وحصلنا على النتائج العملية المتمثلة برسم المنحنيات (I -V) للوح الشمسي من أجل شروط مختلفة.

1-1-5 رسم المنحني (I -V) للوح الشمسي من أجل شدات أشعة مختلفة:

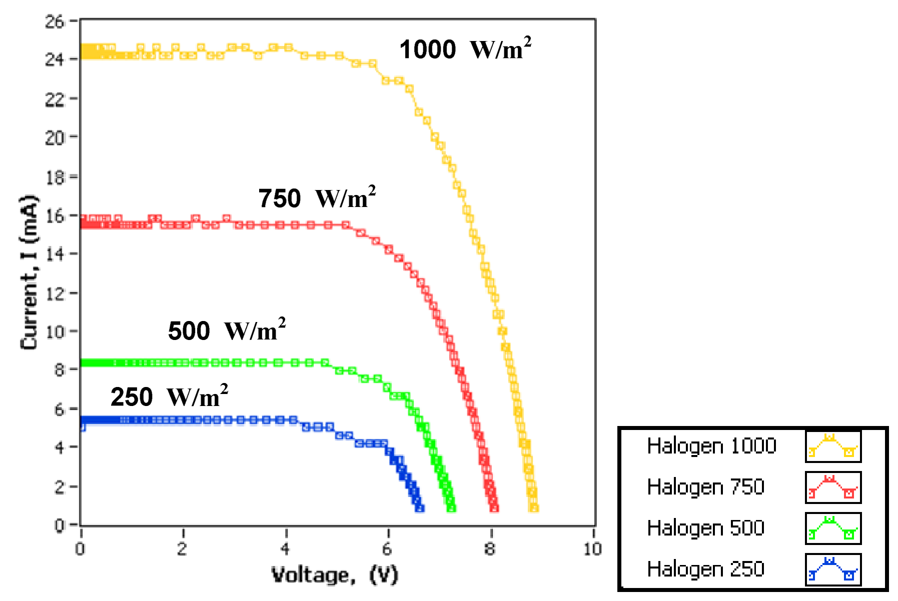
Draw a (I-V) curve of the solar panel for different intensity

قمنا باجراء القياسات بوساطة المنظومة الإلكترونية في نمط العمل الترانزيستور كحمل، وهي الطريقة الآلية، وباستخدام مصابيح الهالوجين فقط، وذلك لتوفر مفتاح يتحكم بشدة إضاءة المصباح، ومن أجل شدات أشعة مختلفة $(250،500،750،1000)W/m^2$، وقد استخدمنا لقياس شدة الاشعاع جهازاً خاصاً لقياس شدة الاشعاع الضوئي.هو Solar Power Meter TES1333 المبين في الشكل(5−1)، فحصلنا على



الشكل (5-1) جهاز قياس الاشعاع الضوئي

المنحنيات الموجودة في الشكل(5−2) حيث نلاحظ بأن مستوى التيار ينخفض كلما انخفض شدة الاشعاع الضوئي وبالتالي الاستطاعة المأخوذة من اللوح الشمسي أيضاً تنخفض، وأن مقدار هذا الانخفاض يساوي تقريباً النصف كلمنا انقصنا شدة الاشعاع بمقدار $250\ W/m^2$، حيث أعلى قيمة للاستطاعة نحصل عليها عند القيمة $1000\ W/\ m^2$ من الاشعاع الضوئي، وأصغر قيمة للاستطاعة نحصل عليها عند القيمة 250 W/m^2 من الاشعاع الضوئي.



الشكل (5-2) منحنيات الفولط – أمبير للوح الشمسي عند شدات إشعاع مختلفة

أما المقادير المميزة للوح الشمسي فقد حصلنا عليها من القسم البرمجي للمنظومة في نمط العمل الترانزيستور، كما في الجدول(5-1)

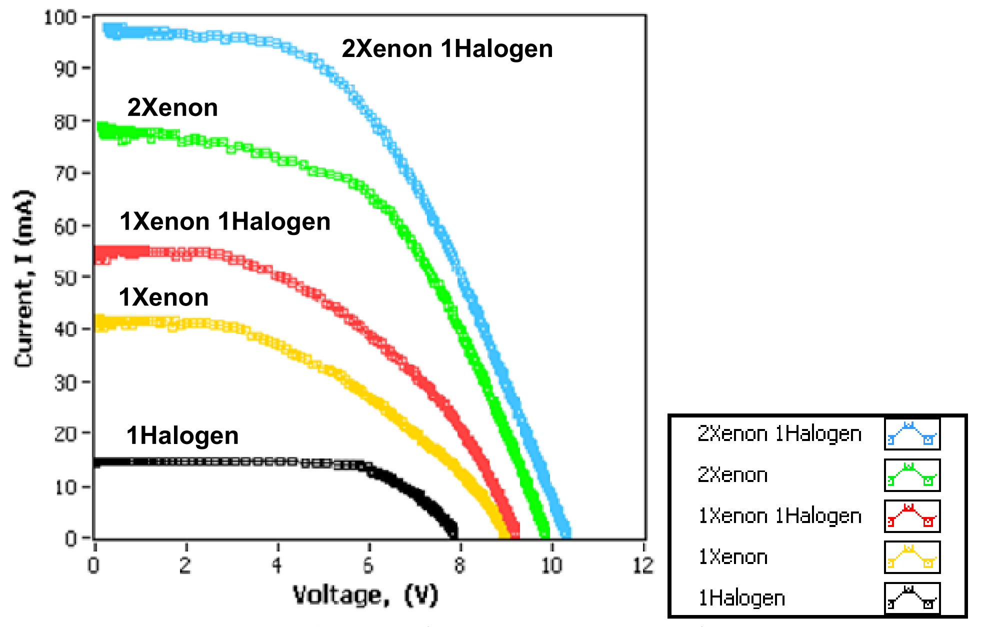
الجدول(5-1)المقادير المميزة للوح الشمسي عند شدات إشعاع مختلفة

File name	VOC	ISC	max power	Current at max power	Voltage at max power	Rshunt	Rseries	fill factor
H1000.tdms	8.831637	24.622730	144.191500	22.536058	6.398257	77.748612	4.805578	0.663074
H750.tdms	8.048872	15.858707	85.304782	13.772035	6.194058	138.820723	9.751687	0.668299
H500.tdms	7.215056	8.346688	43.334148	7.512019	5.768642	686.290759	0.000000	0.719575
H250.tdms	6.602457	5.425347	24.642657	4.173344	5.904775	1379.507720	0.000000	0.687946

5-1-2 رسم المنحني (I -V) للوح الشمسي باستخدام أنواع مختلفة للإضاءة وعند شدات متغيرة للإشعة:

Draw a (I-V) curve of the solar panel for different For Variable intensity and different Lighting Source

تم إجراء القياسات بوساطة المنظومة الإلكترونية في نمط العمل الترانزيستور كحمل، وهي الطريقة الآلية، وباستخدام مصابيح مختلفة (الزينون والهالوجين) في عملية الإضاءة، وعند شدات اشعاع متغيرة. وحصلنا على أعلى قيمة للاستطاعة عندما استخدمنا مصباحين من الزينون ومصباح واحد من الهالوجين، كما في الشكل (5-3)، وأقل قيمة للاستطاعة حصلنا عليها عند استخدام مصباح الهالوجين فقط، وبينهما منحنيات تم الحصول عليها عند استخدام مصباحين من الزينون، وعند استخدم مصباح من الزينون وآخر من الهالوجين، وعند استخدام مصباح واحد من الزينون، ونلاحظ بأنه عند استخدام الزينون نحصل على استطاعة أكبر منه إذا استخدمنا الهالوجين وهذا يعود الى الطيف الواسع للأشعة عند استخدامنا مصباح الزينون بعكس مصباح الهالوجين الذي يمتلك طيف اشعاعي محدود.



الشكل (3-5) منحنيات الفولط – أمبير للوح الشمسي باستخدام أنواع مختلفة للإضاءة وعند شدات متغيرة للإشعة

أما المقادير المميزة للوح الشمسي فقد حصلنا عليها من القسم البرمجي للمنظومة في نمط العمل الترانزيستور، وهي مأخوذة من الملفات الموجودة ضمن حقل File name كما في الجدول(5-2)، وذلك من أجل الأنواع المختلفة للإضاءة وعند شدات متغيرة للإشعة.

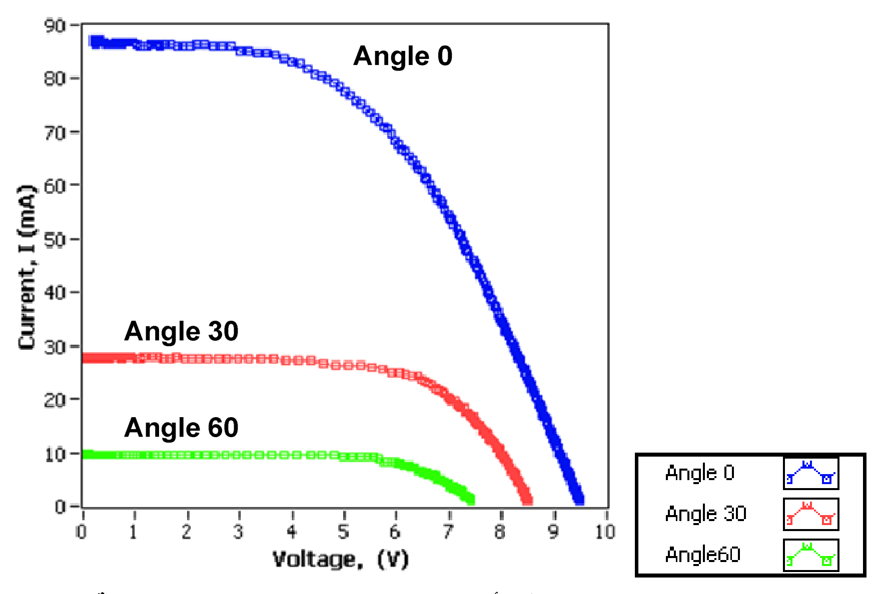
الجدول(5-2)المقادير المميزة للوح الشمسي من أجل الأنواع المختلفة للإضاءة وعند شدات متغيرة للإشعة

File name	VOC	ISC	max power	Current at max power	Voltage at max power	Rshunt	Rseries	fill factor
T2X1H.tdms	10.312085	97.656250	487.420390	77.206864	6.313174	47.027720	209.558961	0.484013
T2X.tdms	9.835619	78.876202	401.597189	62.600160	6.415274	39.665507	463.153126	0.517658
T1X1H.tdms	9.171970	55.088141	234.353797	41.733440	5.615492	48.329432	469.531483	0.463822
T1X.tdms	8.950754	42.150775	165.894082	30.465411	5.445326	69.346409	22.228581	0.439709
T1H.tdms	7.827655	14.606704	79.311006	13.354701	5.938808	104.222772	23.105605	0.693665

3-1-5 رسم المنحني (I -V) للوح الشمسي من أجل زوايا ورود مختلفة:

Draw a (I-V) curve of the solar panel for different angle of incidence

قمنا بإجراء القياسات بوساطة المنظومة الإلكترونية في نمط العمل الترانزيستور كحمل، وهي الطريقة الآلية، ومن أجل شدة اشعاع ثابتة وعند زوايا ورود مختلفة على سطح اللوح الشمسي، حصلنا على أعلى قيمة للاستطاعة عندما كان الإشعاع عامودياً على سطح اللوح الشمسي، حيث أن زاوية الورود تساوي الصفر بالنسبة إلى المستوى العمودي على السطح. وكلما ازدادت زاوية ورود الأشعة انخفضت قيمة الاستطاعة الناتجةعن اللوح الشمسي، كما هو واضح في الشكل(5-4).



الشكل(5-4)منحنيات الفولط – أمبير للوح الشمسي عند زوايا ورود مختلفة

أما المقادير المميزة للوح الشمسي عند زوايا ورود مختلفة، فقد حصلنا عليها من القسم البرمجي للمنظومة في نمط العمل الترانزيستور، وهي مبينة في الجدول(5-3).

الجدول(5-3)المقادير المميزة للوح الشمسي عند زوايا ورود مختلفة

File name	VOC	ISC	max power	Current at max power	Voltage at max power	Rshunt	Rseries	fill factor
Angle0.tdms	9.478270	87.222890	410.346398	69.694845	5.887758	40.126774	258.239984	0.496354
Angle30.tdms	8.491304	27.961405	154.460457	24.205395	6.381241	50.424751	2.938710	0.650555
Angle60.tdms	7.419256	10.016026	50.932892	9.181357	5.547425	167.525696	0.000000	0.685398

5-1-4 رسم المنحني (I -V) للوح الشمسي من أجل أطوال موجية مختلفة:

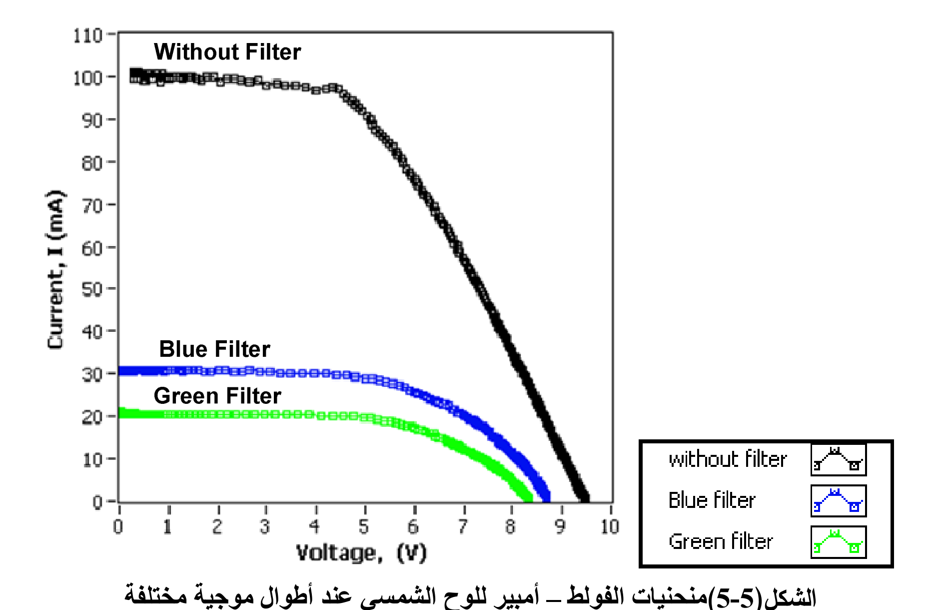
Draw a (I-V) curve of the solar panel for different wavelengths

تم إجراء القياسات بوساطة المنظومة الإلكترونية في نمط العمل الترانزيستور كحمل، وهي الطريقة الآلية، ومن أجل شدة اشعاع ثابتة فيها معظم الاطوال الموجية حصلنا على المنحني Without Filter (بدون فلترة)، حيث يتميز بقيمة عالية للاستطاعة التي حصلنا عليها من اللوح الشمسي، وعند استعمال الفلتر اللوني لطول الموجة الازرق حصلنا على المنحني Blue Filter، حيث انخفضت الاستطاعة بمقدار كبير جداً، ثم استعملنا الفلتر اللوني لطول الموجة الاخضر فحصلنا على المنحني Green Filter، كما في الشكل(5-5) وهو ذو مستوى أدنى من منحني Blue Filter وذلك عائد إلى أن اللون الازرق يمتلك طاقة أعلى من طاقة اللون الاخضر، راجع الفقرة (3-16-4).

وتم الحصول على المقادير المميزة للوح الشمسي عند أطوال موجية مختلفة باستخدام القسم البرمجي للمنظومة في نمط العمل الترانزيستور، كما في الجدول(5-4)

الجدول(5-4)المقادير المميزة للوح الشمسي عند أطوال موجية مختلفة

File name	VOC	ISC	max power	Current at max power	Voltage at max power	Rshunt	Rseries	fill factor
WITHOUT FILTER	9.478270	100.994925	463.026291	83.466880	5.547425	44.806867	180.972386	0.483701
Blue Filter.tdms	8.695504	30.882746	155.248738	26.292067	5.904775	59.981684	14.119058	0.578119
Green Filter.tdms	8.338155	21.284054	103.797427	17.528045	5.921792	89.207436	20.499729	0.584874

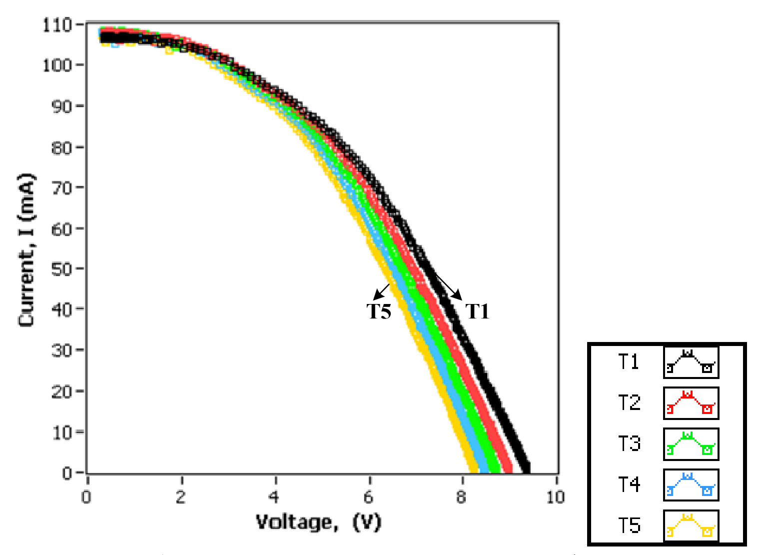


الشكل(5-5)منحنيات الفولط – أمبير للوح الشمسي عند أطوال موجية مختلفة

5-1-5 رسم المنحني (I -V) للوح الشمسي من أجل درجات حرارة مختلفة:

Draw a (I-V) curve of the solar panel for different temperature

تم إجراء القياسات بوساطة المنظومة الإلكترونية في نمط العمل الترانزيستور كحمل، وهي الطريقة الآلية، ومن أجل شدة اشعاع ثابتة ودرجات حرارة مختلفة:T5>T4>T3>T2>T1 حصلنا على المنحنيات المبينة في الشكل (5-6) فمع ازدياد درجة الحرارة ينقص جهد الدارة المفتوحة V_{OC} ويزداد تيار الدارة القصيرة I_{SC}، لكن تأثيرها بالنسبة للجهد أكثر، وهذا يعني أن الاستطاعة الناتجة من الخلية تنخفض بارتفاع درجة الحرارة، مع ملاحظة أن المنحني الأول من اليمين يشير الى T1، وتزداد درجات الحرارة كلما اتجهنا يساراً إلى أن نصل الى المنحني الذي يشير إلى أعلى درجة حرارة وهو T5.



الشكل(5-6)منحنيات الفولط – أمبير للوح الشمسي عند درجات حرارة مختلفة:T5>T4>T3>T2>T1

أما المقادير المميزة للوح الشمسي عند درجات حرارة مختلفة، فقد حصلنا عليها من القسم البرمجي للمنظومة في نمط العمل الترانزيستور، وهي مبينة في الجدول(5−5).

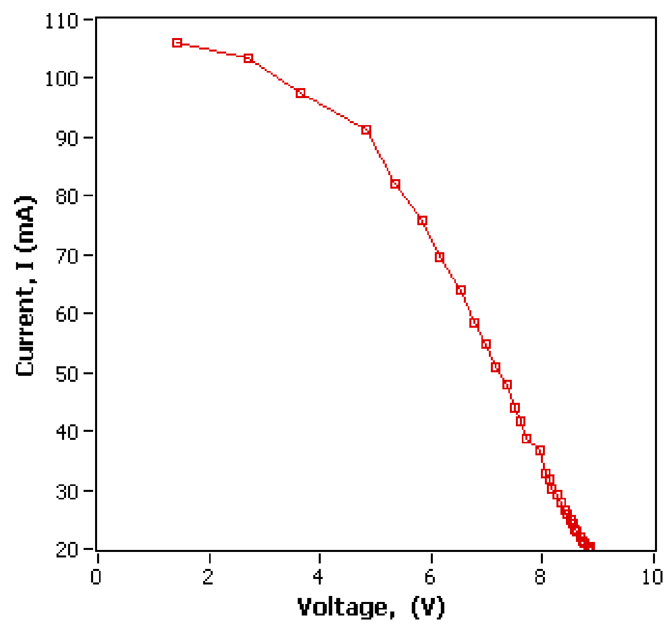
الجدول(5- 5)المقادير المميزة للوح الشمسي عند درجات حرارة مختلفة

File name	VOC	ISC	max power	Current at max power	Voltage at max power	Rshunt	Rseries	fill factor
T1.tdms	9.342137	107.254941	437.744487	76.789530	5.700575	38.826120	138.405690	0.436875
T2.tdms	8.967770	108.506944	423.228755	78.458868	5.394276	36.719162	130.278936	0.434944
T3.tdms	8.695504	108.506944	407.690388	76.789530	5.309192	34.820724	125.965948	0.432094
T4.tdms	8.457271	108.089610	395.745446	78.041533	5.070959	32.386972	124.243027	0.432914
T5.tdms	8.236055	107.672276	383.203967	79.293536	4.832726	31.529352	122.705054	0.432122

5-1- 6 رسم المنحني (I-V) للوح الشمسي باستخدام شبكة المقاومات (الطريقة اليدوية):

Draw a (I-V) curve of the solar panel Using network of resistors (manual procedure)

تم إجراء التجربة في نمط العمل:شبكة المقاومات، من أجل شدة اشعاع ثابتة، وهي الطريقة اليدوية حيث يتم اختيار قيمة المقاومة التي تعمل كحمل عن طريق البرنامج ويتم ارسالها الى الدارة العملية التي تضع قيمة المقاومة هذه حيز التنفيذ ويتم قياس جهد وتيار اللوح الشمسي عند هذه القيمة ومن ثم يقوم بارسالها الى البرنامج ليتم قراءتها ثم وضعها في الجدول، وهكذا من أجل جميع الحالات (32 حالة)، ويتم الحصول على قيمة الاستطاعة بحاصل جداء قيمة التيار مع قيمة الجهد، وبالضغط على زر ال Chart يتم رسم المنحني(I-V) كما هومبين في الشكل(5−7).



الشكل(5−7)المنحني(I-V) للوح الشمسي في نمط العمل:شبكة المقاومات كحمل

2-5 الخاتمة:

الأعمال التي قمنا بإنجازها في هذه الرسالة:

1. تصميم وتنفيذ منظومة حمل متغير باستخدام الترانزيستور الحقلي MOSFET-E(n) (الطريقة الآلية).
2. تصميم وتنفيذ منظومة حمل متغير باستخدام شبكة مقاومات سلمية كحمل أومي (الطريقة اليدوية).
3. إعداد برمجة المتحكم المصغر للتحكم بالحمل المتغير ولتحصيل معطيات الجهد والتيار.
4. تصميم القسم البرمجي لاستقبال القيم الرقمية لمعطيات الجهد والتيار للوح الشمسي ومعالجتها وذلك من أجل :
   - رسم المنحني (I -V) و (P -V) للوح الشمسي في نمطي العمل الترانزيستور وشبكة المقاومات.
   - إيجاد المقادير المميزة للوح الشمسي .
5. تصميم المصدر الضوئي المناسب من أجل إجراء القياسات وأخذ النتائج.
6. دراسة تأثير العوامل المختلفة (شدة الإشعاع الضوئي، الطول الموجية، زاوية الورود للأشعة، تأثيردرجة حرارة اللوح الشمسي) على منحنيات (I-V) للوح الشمسي .

3-5 التوصيات وآفاق التطوير المستقبلية:

1. قمنا باستخدام المنفذ التسلسلي لربط المنظومة مع الحاسب ويمكن في المستقبل استخدام منفذ USB للربط
2. يمكن إضافة حساس حرارة على اللوح الشمسي وحساس حرارة آخر لقياس درجة حرارة المحيط ليتم قياسهما وادراجها ضمن واجهة البرنامج
3. أيضاً يمكن إضافة حساس شدة أشعة بجانب اللوح الشمسي بعد أن يتم معايرته ليتم قياس شدة الاشعاع وادراجه ضمن واجهة البرنامج
4. إذا تم تأمين الشروط القياسية لفحص الالواح الشمسية وهي: شدة اشعاع $1000\ W/m^2$ ودرجة حرارة $25\ C°$ وكتلة الهواءِ $AM=1.5$ فإنه يمكن لمنظومتنا الالكترونية أن تعطي مردود اللوح الشمسي بشكل فعلي

Appendix:الملحقات

ملحق1 : برنامج التحكم بالمتحكم المصغروتحصيل المعطيات

```
/* Comments:
Chip type          : ATmega16L
Program type       : Application
Clock frequency    : 11.0592 MHz
Memory model       : Small
External SRAM size  : 0
Data Stack size     : 256
*******************************/
#include <mega16.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <delay.h>
// Alphanumeric LCD Module functions
#asm
   .equ __lcd_port=0x18 ;PORTB
#endasm
#include <lcd.h>
#asm
.equ key_port=0x12; PORTD
.equ c_byte=0x65
.equ a_byte=0x66
#endasm
#include <keyprs.h>
#pragma regalloc-
//*******Definitions**********
#define STX 0xAA
#define EOT 0xFF
#define START 0x01
#define STOP 0x00
#define CMD 0x05
#define EN_RX  UCSRB|=0x90
#define DIS_RX  UCSRB&=0x6F
#define Manual 0
#define Auto   1
// ***Global Variables Declaration***
#define ADC_VREF_TYPE 0x40
char rec[4],idx=0,end_res=0;
int cmd;
interrupt [USART_RXC] void
usart_rx_isr(void)
{
char data;
data=UDR;
if(data!='z' && idx<2)
{
 rec[idx]=data;
 idx++;
}
else
{
  end_res=1;
  UCSRB=0x18;  // Disable UART
}
}
// Read the 8 most significant bits
// of the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char
adc_input)
{
ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE &
0xff);
// Start the AD conversion
ADCSRA|=0x40;
//Wait for the AD conversion to complete
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
ADCSRA|=0x10;
return ADCW;
}
void KeyPressed();
void transistor_mode(char mod);
void resistor_mode(char mod);
void clock(unsigned int k);
void read_vi(char itr);
void send_vi(int vo,int co);
void decompose(int k);
void analysis();
// Declare your global variables here
int a,v,cur;
char str[4];
char u,num[4];
void main(void)
{
// Declare your local variables here
char k,s[2];
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;
```

```
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;
PORTC=0x00;
DDRC=0xFF;
PORTD=0xFC;
DDRD=0x02;
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;
// USART initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1
Stop, No Parity
// USART Receiver: On
// USART Transmitter: On
// USART Mode: Asynchronous
// USART Baud rate: 9600
UCSRA=0x00;
UCSRB=0x98;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x47;
// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 250.000 kHz
// ADC Voltage Reference: AVCC pin
// ADC Auto Trigger Source: None
// Only the 8 most significant bits of
// the AD conversion result are used
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x87;
// LCD module initialization
lcd_init(16);
while (1)
     {
      KeyPressed();
     };
}
void KeyPressed()
{
  char k=0;
  lcd_clear();
  lcd_putsf("1.MODE");
  while(1)
  {
    delay_ms(50);
    k=key_press(4);  //Button1
    if(k==1)
     {
     lcd_clear();
lcd_putsf("1.Transistor\n2.Resistor");
       while(1)
       {
 k=key_press(4);   //Button1 >> Transistor
         if(k==1)
         {
           lcd_clear();
           lcd_putsf("Transistor
Mode\n1.Manual 2.Auto");
           while(1)
           {
            delay_ms(50);
    k=key_press(4);   //Button1 >> Manual
            if(k==1)transistor_mode(Manual);
    k=key_press(8);   //Button2 >> Auto
            if(k==1)transistor_mode(Auto);
    k=key_press(16);  //Button3 >> Exit
            if(k==1)
{lcd_clear();lcd_putsf("Transistor
Mode\n1.Manual 2.Auto");break;}
           }
         }
k=key_press(8);   //Button2 >> Resistor
         if(k==1)
         {
           lcd_clear();
           lcd_putsf("Resistor
Mode\n1.Manual 2.Auto");
           while(1)
           {
            delay_ms(50);
   k=key_press(4);   //Button1 >> Manual
            if(k==1)resistor_mode(Manual);
   k=key_press(8);   //Button2 >> Auto
            if(k==1)resistor_mode(Auto);
   k=key_press(16);  //Button3 >> Exit

if(k==1){lcd_clear();lcd_putsf("Resistor
Mode\n1.Manual 2.Auto");break;}
           }
         }
         k=key_press(16);  //Button3 >> Exit

if(k==1){lcd_clear();lcd_putsf("1.MODE");
break;}
       }
     }
  UCSRB=0x98;} //Enable USArt
   }
```

```
}
void transistor_mode(char mode)
{
   char k;
   lcd_clear();
   lcd_putsf("Transistor Mode..");
  if(mode==Manual) // Manual transistor
routine
  {
   a=0;
   while(1)
   {
     k=key_press(4);   //Button1 >> INC
     if(k==1)
     {
      a+=2;
      clock(300+a);
      if(a>500) a=0;
      read_vi(a);
      send_vi(v,cur);
     }
      delay_ms(500);
      read_vi(a);
     k=key_press(16);   //Button3 >> Exit
     if(k==1)
     {
      lcd_clear();
      break;
     }
   }
  }
  else if(mode==Auto) // Auto transistor
routine
  {
   a=0;
   k=0;
   while(1)
   {
      a+=4;
      k++;
      clock(a+400);
      read_vi(k);
      send_vi(v,cur);
      if(a>1200)
      {
       a=0;
       //clock(200);
       lcd_clear();
       lcd_putsf("Finished.");
       //lcd_putsf("\n1.Manual 2.Auto");
       break;
      }
    }
   }
}
void resistor_mode(char mode)
//PC3>>PC7
{
  char k;
  lcd_clear();
  lcd_putsf("Resistor Mode..");
  if(mode==Manual) // Manual Resistor
routine
  {
    a=0;
    #asm("sei")
    while(1)
    {
      if(end_res==1) {end_res=0; analysis();
UCSRB=0x98;} //Enable USArt
     k=key_press(16);   //Button3
    if(k==1) {a=0; PORTC=a<<3; break;}
    }
  }
  else if(mode==Auto) // Auto Resistor
routine
  {
      a=0;
      while(1)
      {
       a++;
       PORTC=a<<3;
       delay_ms(500);
       read_vi(a);
       send_vi(v,cur);
       if(a>31)
        {
         a=0;
         PORTC=a<<3;
         lcd_clear();
         lcd_putsf("Finished.");
        // lcd_putsf("\n1.Manual 2.Auto");
         break;
        }
      }
  }
```

```
}
void clock(unsigned int k)
{
 int bin[12];
 int i;
 for(i=0;i<12;i++)
 {
  bin[i]=k%2;
  k=k/2;
 }
 PORTC.2=0;
 PORTC.0=0;
 for(i=11;i>=0;i--)
 {
  PORTC.1=bin[i];
  PORTC.2=1;
  PORTC.2=0;
 }
 PORTC.0=1;
}
void read_vi(char itr)
{
char i,str[4];
double res;
v=0;cur=0;
 for(i=0;i<16;i++)
 {
  cur+=read_adc(2);
  delay_ms(5);
  v+=read_adc(1);
  delay_ms(5);
  }
 v=v>>4;    // v=v/16
 cur=cur>>4; // cur=cur/16
 lcd_clear();
 res=(double)cur*5/1024;
 ftoa(res,3,str);
 lcd_puts(str);
 lcd_gotoxy(7,0);
 res=(double)v*5/1024;
 ftoa(res,2,str);
 lcd_puts(str);
 lcd_gotoxy(8,1);
  itoa(a,str);
 lcd_puts(str);
}
void send_vi(int vo,int co)
{
 char i;
 char ss[4];
 putchar('V');
decompose(vo);
for(i=0;i<4;i++) putchar(num[3-i]+48);
 putchar(';');
 putchar('C');
 decompose(co);
for(i=0;i<4;i++) putchar(num[3-i]+48);
 putchar(';');
}
  void decompose(int k)
  {
   if(k<10)
  {
   num[0]=k;
   num[1]=0;
   num[2]=0;
   num[3]=0;
  }
  else if(k>9 && k<100)
  {
   num[0]=k%10;
   num[1]=k/10;
   num[2]=0;
   num[3]=0;
  }
  else if(k>99 && k<1000)
  {
   num[0]=k%10;
   num[1]=(k/10)%10;
   num[2]=k/100;
   num[3]=0;
  }
  else if(k>999)
  {
   num[0]=k%10;
   num[1]=(k/10)%10;
   num[2]=(k/100)%10;
   num[3]=k/1000;
  }
  }
   void analysis()
  {
  char i;
   lcd_clear();
   lcd_puts(rec);
   delay_ms(2000);
```

```
 cmd=atoi(rec);
 if(cmd<32)
 {
  PORTC=cmd<<3;
  read_vi(a);
}
```

```
  send_vi(v,cur);
 }
 idx=0;
for(i=0;i<2;i++) rec[i]=0;
```

جدول بالرموز العلمية: Table of scientific symbols

$E_{G,hor}$	الاشعاع الشمسي الكلي
$E_{diff,hor}$	الاشعاع الشمسي المنتشر
$E_{dir,hor}$	الاشعاع الشمسي المباشر
E_g	طاقة عرض الحزمة الممنوعة
E	طاقة الفوتون
c	سرعة الضوء
ν	تردد موجة الضوء
λ	طول الموجة
h	ثابت بلانك
$\lambda_\circ$	الطول الأعظمي لموجة الضوء
I_d	التيار المار في المتصل الثنائي
I_0	تيار الإشباع العكسي للمتصل (p-n)
K	ثابت بولتزمان
e	شحنة الإلكترون
T	درجة حرارة الخلية الشمسية
V_{OC}	جهد الدارة المفتوحة
I_{SC}	تيار الدارة القصيرة
P_m	الاستطاعة الأعظمية
I_m	التيار عند نقطة الاستطاعة الأعظمية
V_m	الجهد عند نقطة الاستطاعة الأعظمية
η	مردود الخلية الشمسية
P_m	الاستطاعة الأعظمية للوح الشمسية
FF	عامل الملء للخلية الشمسية
R_s	المقاومة التسلسلية
R_{sh}	المقاومة التفرعية
AM	كتلة الهواء
I_{ph}	التيار الضوئي

I -V curve	منحني الفولت-أمبير
V_{Th}	جهد العتبة
V_G	جهد البوابة
I_{sp}	تيار اللوح الشمسي
V_{sp}	جهد اللوح الشمسي
V_{ref}	الجهد المرجعي للمبدلADC للمتحكم المصغر
V_o	جهد خرج المضخم الذي يعبّر عن قيمة التيار المار
G	عامل ربح المضخم.
n	دقة المبدل التشابهي الرقمي ADC [10 bits].
N	القيمة الرقمية المكافئة للتيار على خرج المبدلADC.
K_V	معامل تقسيم الجهد
V_{in}	جهد دخل المضخم.

Table of scientific terminology :جدول بالمصطلحات العلمية

Energy	الطاقة
Second law of thermodynamic	القانون الثاني لديناميكا الحرارة
Renewable Energy	الطاقة المتجددة
Concentrating Solar Thermal Power (CSP)	الطاقة الحرارية الشمسية المركزة
Solar Radiation	الإشعاع الشمسي
diffuse radiation	الإشعاع المنتشر
direct radiation	الإشعاع المباشر
Global solar radiation	الإشعاع الشمسي الكلي
Pyranomater	البيرانومتر:جهاز يقيس الإشعاع الشمسي الكلي
Pyrhliometer	البيروليومتر: جهاز يقيس الإشعاع المباشر
semiconductors	أنصاف النواقل
conductors	نواقل
insulators	عوازل
Photovoltaic Effect	الفعل الفوتوفلطائي
semiconductor devices	العناصر المصنعة من أنصاف النواقل
forbidden band	الحزمة الممنوعة
Doping	مشوب
Impure	غير نقي
Depletion region	المنطقة المجردة
Electric field	حقل كهربائي
Steady-state	الحالة المستقرة
Hole-Electron Pairs [HEP]	زوج من إلكترون– ثقب
Multi-junction Solar Cell	الخلايا متعددة المتصل
Amorphous silicon(a-Si)	سيليكون غير متبلور
Silicon Multicrystalline	سيليكون متعدد البلورة
Crystalline Silicon	سيليكون وحيد البلورة
polymer solar cells	الخلايا الشمسية المصنوعة من مواد بلاستيكية

Dy-sensitized solar cells	الخلايا الشمسية الصباغية
Solar Cells	الخلايا الشمسية
Module	وحدة شمسية
Array	مصفوفة
Air mass (AM)	كتلة الهواء
Efficiency η	المردود
Incident Angle(θ)	زاوية الورود
cosine function	تابع التجيب
photocurrent	التيار الضوئي
Monochromator	الناخب اللوني
Hardware	الدارة العملية للمنظومةالإلكترونية
Software	القسم البرمجي للمنظومةالإلكترونية
Solar Panel	اللوح الشمسي
Variable Load	حمل متغير
Controller Circuit	دارة متحكم
Lighting Sourse	منبع ضوئي
PC	الحاسوب
Device Under Test	أداة قيد الاختبار
Data Acquisition Unit	دارة تحصيل معطيات
Parameters	المقادير المميزة
Microcontroller	متحكم مصغر
Threshold Voltage	جهد العتبة
Output Characteristics	مميزات الخرج
Transfer Characteristics	مميزات التحويل
I -V curve	منحني الفولت-أمبير
The Enhancement-mode MOSFET Transistor	الترانزيستور الحقلي ذو النمط المعزز
Run	أمر التشغيل
Reset	أمر التصفير

Step	الخطوة
Short	قصر
Microprocessor	معالج مصغر
ADC	مبدل تشابهي رقمي
Memories	ذواكر
Universal Asynchronous Receiver Transmitter UART	مرسل ومستقبل تسلسلي عام غير متزامن
Serial Port	النافذة التسلسلية
DAC	المبدل الرقمي التشابهي
Complition	الترجمة
Manual	اليدوي
Auto	الآلي
Driver	قيادة
Voltage Attenuator	مقسم الجهد
Current Amplifier	مضخم التيار
Hard-Disk	القرص الصلب
Selection Mode	نمط العمل
Baud Rate	معدل الإرسال
Check-Box	أزرار صناديق الفحص
Front Panal	اللوحة الأمامية
User Interface	واجهة المستخدم
Controls	المتحكمات
Indicator	المؤشرات
Block Diagram	المخطط الصندوقي
Capacitive Load	حمل سعوي
Inductive Load	حمل تحريضي
Load Ohmic	حمل أومي
Noble Gases	الغـــازات النبيلـــة
Xenon	الزينون

high intensity discharge lights HID	مصابيح الإنارة العالية الكثافة
Solar Power Meter	مقياس شدة الاشعاع الشمسي
Blue/Green Filter	فلتر ضوئي للون الأزرق/الأخضر
Ethyl Vinyl Acetate (EVA)	طبقة من البلاستيك الحراري
Thin Films	تقنيات الأفلام الرقيقة
Screen Printing	الشاشة المطبوعة
Metlorganic Dye Ruthenium	مادة أساس من نوع عضوي معدني صباغي
Passivation	الحماية
substrate	طبقة الأساس
deposited	مترسبة أو متراكمة
Guttering	التخلص من الشوائب والعيوب
Fill Factor (FF)	عامل الملء للخلية الشمسية
Virtual Instruments	الألة الأفتراضية
Relay	الحاكمة
Assembly	التجميع
Tedlar	غطاء خلفي لاصق
Dangling Bands	الحزم المتدلية
Elastic Stainless Steel	الفولاذ المرن
Silicon Wafers	الرقائق السيليكونية
Protection diode	ديودات وقاية
The p – n Junction Diode	المتصل الثنائيp - n
strings	مجموعة من الخلايا الشمسية توصل بشرائط نحاسية ثم تلتحم
Testing	الاختبار
Cell connection	توصيل الخلايا الشمسية
Resistor	المقاومة
electromotive force (emf)	قوة محركة كهربائية

المنشورات:Publications

تم نشر بحث بعنوان:

" تحديد المقادير المميزة للوح الشمسي باستخدام الترانزيستور الحقلي MOSFET-E(n) كحمل "

"Solar Panel Parameters Identification Using MOSFET-E(n) Transistor as a Loading Element"

في مجلة بحوث جامعة حلب العدد 89 لعام 2010.

المراجع العربية والأجنبية: Bibliography

[1].BOYLE G., 2008– Renewable Energy: Power for a Sustainable Future, Oxford University Press/The Open University, 452 pages.

[2]. J. Dewulf and H. Van Langenhove, 2006-Renewables-Based Technology: Sustainability Assessment, © John Wiley & Sons, Ltd. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.

[3]. Martin K. Wolfgang S.Andreas W., 2007-Renewable Energy Technology, Economics, and Environment, Springer Berlin Heidelberg New York, 590 pages.

[4]. Felix A. Farret, M. Godoy., 2006- Integration of Alternative Sources of Energy, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 499 pages

[5]. Goswami.Y, Krelth.F, 2008-Energy Conversion, © by Taylor&Francis Group, LLC, CRC Press is an imprint of Taylor&Francis Group, an Informa business.

[6]. Neil S. Jayne W., Alternative Energy, 2006 Thomson Gale, a part of the Thomson Corporation, 510 pages.

[7] . خوجلي أحمد،2005 - الطاقة الشمسية وامكانيات استغلالها،السودان،155

[8] .حمود بسام، 2004- نظم الطاقات المتجددة.الطبعة الأولى، المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر بدمشق، سوريا، 314.

[9] المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم،إدارة برامج العلوم والبحث العلمي،سلسلة الحقائب التعليمية التدريبية في مجال الطاقات المتجددة، حقيبة الخلايا الشمسية، تونس 2000.

[10]. K. Hanjalic, R. Van De Krol, A. Lekic., 2008 -Sustainable Energy Technologies Options and Prospects, Published by Springer, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands,341pages.

[11].المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم،إدارة برامج العلوم والبحث العلمي، مشروع مصادر الطاقات المتجددة في الوطن العربي ،أطلس الإشعاع الشمسي للوطن العربي، تونس

[12].الصباغ وسيم، تجربة المركز الوطني لبحوث الطاقة في استخدام التقانة الكهروضوئية، المركز الوطني لبحوث الطاقة ، سوريا، المؤتمر السوري الفرنسي الأول للطاقات المتجددة، دمشق 2010

[13]. Gilbert M. Masters., 2004- Renewable and Efficient Electric Power Systems, Published By John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 676 pages.

[14]. YOON J.; BACA A.J.; PARK S.; ELVIKIS P., 2008 -"Ultrathin silicon solar microcells for semitransparent, mechanically flexible and micrococentrator module designs" Nature Materials, 7(11), 907-915.

[15]. Volker Quaschning., 2005- Understanding Renewable Energy Systems, First published by Earthscan in the UK and USA,289 Pages.

[16] KOMIN T.M.N., 2009- "I-V and C-V Characterizations of Solar/Photovoltaic Cells". ©Agilent Technologies, Inc. USA.

[17]. البكور بشار، دراسة الأداء الأمثل لخلية شمسية ذات أبعاد صغيرة، رسالة أعدت لنيل درجة الدكتوراة،جامعة حلب، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، قسم الهندسة الإلكترونية، عام 2010.

[18]. FENG N., 2007- "Design of highly efficient light-trapping structures for thin-film crystalline silicon solar cells" IEEE Trans Electron Devices, 54,1926-1933

[19]. MARKVART T.; LUIS C., 2006- "Slar Cells: Materials, Manufacture and Operation", 2nd Ed, Radarweg 29, PO Box2 11, 1000 AE Amsterdam, the Netherlands.

[20].M.Jorgensen, K.Norrman, F.C.Krebs 'Stability/degradation of polymer solar cells'Solar Energy Materials and Solar cells Vol 92,Issue 7,P. 686-714,(2008).

[21]. Laboratory, N.R.E. [cited; Available from: www.nrel.gov. Source: National Renewable Laboratory

[22] Mauro Graziani, Paolo Fornasiero., 2007- Renewable Resources And Renewable Energy a Global Challenge, by Taylor & Francis Group, LLC, 380pages

[23]. KEYES B., 2007- National Solar Technology Roadmap: Film-Silicon PV in National Solar Technology Roadmap. National Renewable Energy Laboratory: Golden, CO. 7.

[24]. CHARLES H.COX., 1982- System for determining the current-voltage characteristics of a photovoltaic array. Photovoltaic Specialists Conference, Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE, 1356-1361.

[25].THOMAS. WARNER H.., jul. 26, "I-V curve tracer employing parametric sampling", Appl. No.:402, 040.

[26] غندور عبد الله، السليمان نديم،1997 - الهندسة الإلكترونية I. الطبعة الأولى، منشورات جامعة البعث، سوريا،303.

[27]. www.atmel.com/literature, "ATMEGA16 data sheet".

[28]. www.maxim-ic.com, "LTC1451 data sheet".

[29]. www.maxim-ic.com, "IRFP260N data sheet".

[30] عريان عمار،2007 - LabVIEW الدليل التعليمي للفني والمهندس.الطبعة الأولى، شعاع للنشر والعلوم،583

[31]. Robert A. Capob, Xenon: The Full Spectrum vs. Deuterium Plus Tungsten, Copyright © 1998-2003 PerkinElmer, Inc.